

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LILIANE MAIA TCACENCO MANZANO

MONITORAMENTO DOS SISTEMAS AQUÍFEROS UTILIZADOS NO  
ABASTECIMENTO PÚBLICO DO MUNICÍPIO DE CAMPO GRANDE, MS

Curitiba

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LILIANE MAIA TCACENCO MANZANO

MONITORAMENTO DOS SISTEMAS AQUÍFEROS UTILIZADOS NO  
ABASTECIMENTO PÚBLICO DO MUNICÍPIO DE CAMPO GRANDE, MS

Dissertação apresentada como requisito parcial à  
obtenção do grau de Mestre em Geologia Ambiental,  
no curso de pós Graduação em Geologia, Setor de  
Ciências da Terra, da Universidade Federal do  
Paraná.

Orientador:

Prof. Dr. Ernani Francisco da Rosa Filho

Coorientadora:

Profª Drª Camila de Vasconcelos Müller Athayde

Curitiba

2018

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR  
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

---

M296m Manzano, Liliane Maia Tcacenco

Monitoramento dos sistemas aquíferos utilizados no abastecimento público do município de Campo Grande, MS / Liliane Maia Tcacenco Manzano. – Curitiba, 2018.

112f. : il. [algumas color.] ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-graduação em Geologia, 2018.

Orientador: Ernani Francisco da Rosa Filho

Coorientadora: Camila de Vasconcelos Müller Athayde

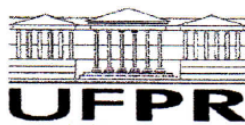
Bibliografia: p. 96-100.

1. Poços. 2. Aquíferos – Campo Grande (MS). 3. Potenciometria, I. Universidade Federal do Paraná. II. Rosa Filho, Ernani Francisco da. III. Athayde, Camila de Vasconcelos Müller. IV. Título.

CDD: 551.49

---

Bibliotecária: Roseny Rivelini Morciani CRB-9/1585



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR CIÊNCIAS DA TERRA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO GEOLOGIA

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOLOGIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **LILIANE MAIA TCACENCO MANZANO** intitulada: **MONITORAMENTO DOS SISTEMAS AQUIFEROS UTILIZADOS NO ABASTECIMENTO PÚBLICO DO MUNICÍPIO DE CAMPO GRANDE, MS**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 26 de Março de 2018.

ERNANI FRANCISCO DA ROSA FILHO  
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

DIDIER GASTMANS  
Avaliador Externo (UNESP)

LUIZ EDUARDO MANTOVANI  
Avaliador Externo (UFPR)

## **DEDICATÓRIA**

À Jefferson Cassu Manzano pelo companherismo  
que nos uniu em uma família intensamente  
desejada: Júlia, Laura e Helena.

À mãe Ilza, avôs Itamar e Elza, almas que sempre  
viverão em minhas lembranças e pensamentos.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná.

À CAPES-DS pela bolsa concedida nos meses decorrentes dessa pesquisa.

Ao Profº Dr Ernani Francisco da Rosa Filho pela disposição imediata de orientação dessa pesquisa.

À Profª Drª Camila de Vasconcelos Müller Athayde pela co-orientação desse trabalho, sanando sempre as eventuais dúvidas.

À Profª Drª Maria Cristina de Souza, coordenadora do Programa de Pós-graduação em Geologia pelas orientações quanto a forma e normas do projeto de pesquisa e confecção da dissertação.

À empresa Águas Guariroba S.A. pelos dados concedidos para elaboração dessa pesquisa. Em especial, à gerência de operações, ao setor de eletromecânica, ao laboratório de análises de águas e ao Clecio Pereira da Silva que sempre forneceu os dados atualizadas dos quais eu precisava.

Ao Laboratório de Pesquisas Hidrogeológicas e seus funcionários pela estrutura física utilizada.

Ao Profº Dr Gustavo Barbosa Athayde pelas sugestões e debates sobre hidrogeologia.

Ao Profº Dr Giancarlo Lastoria por algumas discussões sobre a hidrogeologia de Campo Grande. Ao Profº Dr Didier Gastmans e Profº Dr Luiz Eduardo Mantovani pelas valiosas considerações e correções na banca avaliadora desse trabalho.

Aos amigos Alice Lau e Anselmo Zuqui pelo convívio diário e companherismo na pós graduação, seja pelo compartilhamento de metas ou pelos momentos de descontração.

Aos amigos Camila Silveira, Malu Ferreira, Erika Kiemo, Mayara Santana, Thaili Conte, Amanda Carvalho, Fábio Dourado e Rhander Altoé por tantos bons momentos. A vida vale a pena, principalmente quando se tem amigos.

À Claudia Larini e Celso Duarte pelo apoio em Curitiba. À minha irmã Celize Tcacenco, cunhado João Henrique Lago e amiga Mirian Menegazzo pelo apoio em todas as horas. A Jaqueline Manzano e Bárbara Manzano (cunhadas); e Lourdes Cassu (sogra), que me ajudaram nas férias escolares das meninas.

Por fim, à minha família: Júlia, Laura e Helena, “pingos de gente” que tiveram que entender minha ausência em vários momentos. Ao companheiro de vida Jefferson Manzano, pela paciência e inúmeros ensinamentos com mapas e figuras.

## RESUMO

O abastecimento de água em grandes cidades pode ser realizado por meio de mananciais superficiais e subterrâneos. A captação de água subterrânea por poços tubulares profundos é uma alternativa eficaz quando a demanda de água superficial não atende a demanda exigida para abastecimento público. No município de Campo Grande, MS, a captação subterrânea representa 46% da demanda do abastecimento público. O levantamento de parâmetros hidrodinâmicos e análises químicas se faz necessário para o melhor entendimento do comportamento da água subterrânea, seja para exploração correta de recursos subterrâneos ou para gestão de sistema aquíferos. A análise histórica e temporal de dados de poços tubulares profundos fornece indicativos se há alterações de padrões no período de exploração do poço e o que isso impactará na qualidade e quantidade da água subterrânea explorada. Para esse trabalho foram utilizados dados de 130 poços tubulares profundos no município de Campo Grande, MS, região centro oeste brasileira. Esses poços captam água de três sistemas aquíferos, sendo o Sistema Aquífero Bauru e Sistema Aquífero Guarani, unidades hidrogeológicas sedimentares e o Sistema Aquífero Serra Geral, uma unidade hidrogeológica fraturada/fissural. O Sistema Aquífero Guarani encontra-se em condições de confinamento no município de Campo Grande, o Sistema Aquífero Bauru é encontrado como uma unidade hidrogeológica livre e o Sistema Aquífero Serra Geral, em 95% encontra-se de forma livre, sendo os 5% restantes recobertos pelo Sistema Aquífero Bauru. Foram analisadas as potenciometrias na época da perfuração e do ano de 2016. Com a análise da potenciometria, percebeu-se um rebaixamento médio de 34 metros para o Sistema Aquífero Guarani e de 2,4 metros para o Sistema Aquífero Bauru, sendo que o Sistema Aquífero Serra Geral é o sistema aquífero que se apresenta com características mais próximas às condições da perfuração. As capacidades específicas dos três sistemas aquíferos classifica o município de Campo Grande como uma produtividade moderada ( $27 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , para o sistema Aquífero Serra Geral), alta ( $3,7 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$  para o Sistema Aquífero Bauru) e muito alta ( $5,8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$  para o Sistema Aquífero Guarani). Demonstra-se um alto potencial para exploração de águas subterrâneas nesse município. Além disso, foram feitos comparativos entre parâmetros físico-químicos dos sistemas sedimentares (pH, temperatura, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e dureza), sendo os parâmetros de pH e temperatura o que mais diferenciam os dois sistemas sedimentares. A análise do parâmetro nitrato, que é um indicativo de contaminações antrópicas, foi realizada para todos os sistemas e somente o Sistema Aquífero Guarani apresenta a ausência de contaminações por esse parâmetro. Tanto o Sistema Aquífero Serra Geral quanto o Sistema Aquífero Bauru precisam de um monitoramento efetivo para o controle desse parâmetro. A contaminação por nitrato em grandes centros urbanos resulta predominantemente do aumento da ocupação da área urbana da cidade associada a ausência de saneamento básico e utilização de fossa sépticas. Com o monitoramento de sistemas aquíferos é possível sugerir mudanças na forma da exploração da água subterrânea, com a finalidade do melhor aproveitamento quantitativo e qualitativo da água subterrânea.

**PALAVRAS CHAVE:** Poços tubulares profundos, potenciometria, produtividade, nitrato.

## ABSTRACT

The water supply in large cities can be realized by means of superficial and underground springs. Capturing groundwater by deep tubular wells is an effective alternative when the demand for surface water does not meet the demand demanded for public supply. In the municipality of Campo Grande, MS, the underground catchment represents 46% of the demand of the public supply. The survey of hydrodynamic parameters and chemical analyzes is necessary for a better understanding of groundwater behavior, either for the correct exploitation of underground resources or for the management of aquifer systems. The historical and temporal analysis of data from deep tubular wells provides indications of changes in patterns in the wellbore's time and what this will impact on the quality and quantity of groundwater exploited. For this work, data from 130 deep tubular wells were used in the city of Campo Grande, MS, in the central western Brazilian region. These wells capture water from three aquifer systems, being the Bauru Aquifer System and Guarani Aquifer System, sedimentary hydrogeological units and the Serra Geral Aquifer System, a fractured / fissural hydrogeological unit. The Guarani Aquifer System is under confinement conditions in the municipality of Campo Grande, the Bauru Aquifer System is found as a free hydrogeological unit and the Serra Geral Aquifer System is 95% free, with the remaining 5% covered by the Bauru Aquifer System. Potentiometry was analyzed in the drilling season and in the year 2016. With the potentiometry analysis, an average fall of 34 meters for the Guarani Aquifer System and 2.4 meters for the Bauru Aquifer System was observed, and the System Aquifero Serra Geral is the aquifer system that presents with characteristics closer to the drilling conditions. The specific capacities of the three aquifer systems classified the municipality of Campo Grande as moderate ( $27 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ), high ( $3.7 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$ ) and very high ( $5.8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$ ), for the Serra Geral, Bauru and Guarani aquifer systems, respectively. This shows a high potential for groundwater exploitation in this municipality. In addition, comparisons were made between physico-chemical parameters of the sedimentary systems (pH, temperature, electrical conductivity, total dissolved solids and hardness), being the parameters of pH and temperature that more differentiate the two sedimentary systems. The analysis of the nitrate parameter, which is indicative of anthropogenic contamination, was performed for all systems and only the Guarani Aquifer System presents the absence of contaminations by this parameter. Both the Serra Geral Aquifer System and the Bauru Aquifer System need effective monitoring to control this parameter. The nitrate contamination in large urban centers results predominantly from the increased occupation of the urban area of the city associated with the absence of basic sanitation and the use of septic tanks. With the monitoring of aquifer systems it is possible to suggest changes in the form of groundwater exploitation, with the purpose of better quantitative and qualitative use of groundwater.

**KEYWORDS:** Deep tubular wells, potentiometry, productivity, nitrate.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação da densidade de poços tubulares profundos perfurados com cadastro no sistema de informações de águas subterrâneas - SIAGAS. ....	22
Figura 2: Mapa de localização do município de Campo Grande (MS) e delimitação da área urbana com divisão dos municípios do estado e principais rodovias de acesso. ...	29
Figura 3: Figura de representação das bacias hidrográficas dos rios Paraná e Paraguai, das unidades de planejamento e gerenciamento (UPGs) e das bacias hidrográficas dos rios Paraná e Paraguai, no Mato Grosso do Sul . ....	30
Figura 4: Localização das Bacias Sedimentares do Paraná e Bauru em território nacional. Mapa gerado a partir do contorno das formações geológicas pertencentes as bacias sedimentares Paraná e Bauru .....	34
Figura 5: Intervalo estratigráfico de importância hidrogeológica a ser estudada nesse trabalho.....	36
Figura 6: : Mapa geológico do estado do Mato Grosso do Sul, com detalhe do limite municipal e da área urbana de Campo Grande .....	37
Figura 7: Mapa de domínios hidrogeológicos do Mato Grosso do Sul .....	40
Figura 8: Mapa dos sistemas aquíferos do município de Campo Grande, adaptado do mapa hidrogeológico 1:1000000, da CPRM .....	42
Figura 9: Área de ocorrência do Sistema Aquífero Guarani .....	43
Figura 10: Área de exposição do Sistema Aquífero Bauru nos estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul, com poços de monitoramento instalados da rede integrada de monitoramento de água subterrânea .....	47
Figura 11: Pocinho (75 metros de profundidade), poço (118 metros de profundidade), PAR (270 metros de profundidade) e poção (650 metros de profundidade), perfurados para captação de água no SAB, SASG, SAG e SAG, respectivamente.....	49
Figura 12: Mapa de localização dos poços na área urbana do município de Campo Grande, com base de dados de drenagem IBGE em escala 1:250.000.....	50
Figura 13: Valores de pH obtidos para os sistemas aquíferos SAB, SAG e SASG, no ano de 2016.....	84
Figura 14: Valores de temperatura obtidos para os sistemas aquíferos SAB, SAG e SASG, no ano de 2016.....	85
Figura 15: Valores de dureza obtidas para os sistemas aquíferos SAB, SAG e SASG no ano de 2016.....	86
Figura 16: Valores de condutividade obtidos para os sistemas aquíferos SAB, SAG e SASG no ano de 2016.....	86
Figura 17: Valores de Sólidos Totais Dissolvidos obtidos para os sistemas aquíferos SAB, SAG e SASG no ano de 2016 .....	87
Figura 18: Mapa de monitoramento do nitrato em poços tubulares profundos do SAB, no período de 2011 a 2016.....	89
Figura 19: Mapa de monitoramento do nitrato em poços tubulares profundos do SASG, no período de 2011 a 2016.....	90
Figura 20: Imagens espaciais de ocupação da área urbana do município de Campo Grande (Google Earth). ....	92

## LISTA DE FIGURAS DO ARTIGO

Fig. 1: Mapa de localização dos poços tubulares profundos na área urbana do município de Campo Grande, MS, com base de dados de drenagem IBGE em escala 1:250000.....	65
Fig. 2: Mapa potenciométrico do SAB na perfuração (à esquerda) e profundidades para o ano de 2016 (direita). Nota-se uma diferença média de 2 metros na cota de perfuração de 624 m para 622 m de profundidade do nível estático atual.....	71
Fig. 3: Variação do nível estático no período de 2012 a 2017 nos poços RIMAS de Água Clara e Ribas do Rio Pardo.....	72
Fig. 4: Mapa de potenciométrico do SAG na perfuração (à esquerda) e para o ano de 2016 (direita). Nota-se um aprofundamento das profundidades de níveis estáticos no município, com excessão do poço CGR-213.....	75
Fig. 5: Perfis construtivos de poços tubulares profundos do SAG com indicação de nível estático na perfuração e no ano de 2016. ....	77
Fig. 6: Mapa potenciométrico do SASG na perfuração e nos valores do ano de 2016.....	78

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: PRECIPITAÇÃO ANUAL ACUMULADA ENTRE OS ANOS DE 2002 E 2016 .....	33
GRÁFICO 2: NÚMERO DE POÇOS POR SISTEMA AQUÍFERO ANALISADOS NESSE TRABALHO .....	53

## LISTA DE GRÁFICOS DO ARTIGO

GRAF. 1: PRECIPITAÇÃO ANUAL ACUMULADA ENTRE OS ANOS DE 2002 E 2016 .....	70
GRAF. 2: PROFUNDIDADE DE NÍVEL ESTÁTICO NA PERFURAÇÃO E NO ANO DE 2016. ....	73
GRAF. 3: ACOMPANHAMENTO DOS NÍVEIS ESTÁTICOS DOS POÇOS PARA O SAB NO PERÍODO DE 2010-2016 .....	73
GRAF. 4: PROFUNDIDADES DE NÍVEIS ESTÁTICOS NO ANO DE 2016 E NO ANO DA PERFURAÇÃO.....	76

## **LISTA DE TABELAS**

TABELA 1: ACUMULADO DE PRECIPITAÇÃO DO PERÍODO DE 2002-2015, COM A PRECIPITAÇÃO ACUMULADA NO ANO E MENSAIS (ADAPTADO DO CENTRO DE MONITORAMENTO DO TEMPO, CLIMA E RECURSOS HÍDRICOS DE MATO GROSSO DO SUL – CEMTEC).	32
TABELA 2: DISPONIBILIDADE HÍDRICA DOS SISTEMAS AQUÍFEROS BAURU, SERRA GERAL E GUARANI NO MATO GROSSO DO SUL	41
TABELA 3: PARÂMETROS, MÉTODOS E PRESERVAÇÃO POR AMOSTRA UTILIZADOS NA AMOSTRAGEM DE ÁGUA, ADOTADOS PELO LABORATÓRIO DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DE ÁGUA, DA EMPRESA ÁGUAS GUARIROBA S.A.	57
TABELA 4: PARÂMETROS ANALISADOS PARA O SAG NO ANO DE 2016	58
TABELA 5: PARÂMETROS ANALISADOS PARA 25 POÇOS TUBULARES PROFUNDOS DO SAB NO ANO DE 2016	59
TABELA 6: PARÂMETROS ANALISADOS PARA 68 POÇOS DO SASG, NO ANO DE 2016	60
TABELA 7: CÁLCULOS ESTATÍSTICOS DE VALORES DE PARÂMETROS ANALISADOS POR POÇO NO SAG	81
TABELA 8: PARÂMETROS ANALISADOS PARA O SAB, PARA 25 POÇOS TUBULARES PROFUNDOS NO ANO DE 2016	82
TABELA 9: VALORES ANALISADOS COM MÍNIMO, MÁXIMO E MÉDIA, PRIMEIRO QUARTIL, MEDIANA E TERCEIRO QUARTIL PARA O SASG, COM BASE EM 68 POÇOS TUBULARES PROFUNDOS	83

## **LISTA DE TABELAS DO ARTIGO**

TAB 1: DADOS DE POTENCIOMETRIA E ESPESSURAS SATURADA DO SAB NA PERFURAÇÃO E NO ANO DE 2016	68
--	----

## **LISTA DE QUADROS**

QUADRO 1: FATORES DE COMPETITIVIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	21
---	----

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

SAB – Sistema Aquífero Bauru

SAG - Sistema Aquífero Guarani

SASG – Sistema Aquífero Serra Geral

SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

SIAGAS – Sistema de informações de águas subterrâneas

CPRM - Serviço Geológico do Brasil

PERH- MS – Plano Estadual de Recursos Hídricos do Mato Grosso do Sul

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

SEMAC – Secretária de Meio Ambiente

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

EMA - Estação meteorológica automática

CEMTEC - Centro de monitoramento do tempo, do clima e dos recursos hídricos de Mato Grosso do Sul

SANEMAT – Companhia de saneamento do estado de Mato Grosso

SANESUL – Companhia de saneamento de Mato Grosso do Sul

PAR – Poço de alto rendimento

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

s/m – sem medições nesse período

n/perf – ainda não havia sido perfurado nesse período

N – nitrato

μS/cm – microSiemens por centímetro

CaCO<sub>3</sub> – Carbonato de cálcio

mg/L – miligrama por litro

(+) – poço jorrante na perfuração

Ne– nível estático

Nd – nível hidrodinâmico

## SUMÁRIO

ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	15
1. INTRODUÇÃO .....	16
1.1 JUSTIFICATIVAS .....	17
1.2 HIPÓTESES .....	18
1.3 OBJETIVOS .....	18
1.3.1 Objetivos específicos .....	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1 AQUÍFEROS .....	23
2.2 GEOMETRIA DOS AQUÍFEROS .....	24
2.3 DADOS HIDRODINÂMICOS .....	25
2.4 ANÁLISES DE ÁGUA.....	26
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	29
3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO À ÁREA DE ESTUDO .....	29
3.2 ASPECTOS DEMOGRÁFICOS.....	30
3.3 HIDROGRAFIA E CLIMATOLOGIA.....	30
3.4 GEOLOGIA.....	34
3.4.1 Geologia local.....	36
3.5 CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO .....	38
3.5.1 Sistema Aquífero Guarani (SAG).....	42
3.5.2 Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) .....	45
3.5.3 Sistema Aquífero Bauru (SAB) .....	46
3.6 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS POÇOS TUBULARES PROFUNDOS.....	48
3.6.1 O histórico do abastecimento de água por poços tubulares profundos no município de Campo Grande.....	48
3.6.2 Nomenclatura interna de poços tubulares profundos no município de Campo Grande.....	49
3.6.3 Localização dos poços tubulares profundos em Campo Grande .....	50

4.	MÉTODOS E MATERIAIS EMPREGADOS .....	51
4.1	PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	51
4.2	CARTOGRAFIA, PERFIS DE POÇOS E AMBIENTE GIS .....	51
4.3	POÇOS TUBULARES PROFUNDOS .....	52
4.3.1	Coordenadas e localização de poço tubulares profundos .....	54
4.3.2	Cota do terreno na boca do poço .....	54
4.3.3	Perfis litológicos e construtivos dos poços tubulares profundos.....	54
4.3.4	Profundidade de níveis estáticos na perfuração e atual .....	54
4.3.5	Profundidade do nível dinâmico e medição de vazão .....	55
4.3.5.1	Vazões do SAB, SAG E SASG.....	55
4.3.6	Rebaixamentos, capacidades específicas e testes de bombeamentos.....	56
4.3.7	Boletim de análises de águas.....	56
4.3.7.1	Dados dos boletins de análises de água do SAG.....	57
4.3.7.2	Dados dos boletins de análises de água do SAB .....	58
4.3.7.3	Dados dos boletins de análises de água do SASG .....	59
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	62
5.1	ARTIGO 1.....	62
1.	INTRODUÇÃO.....	63
1.1	Localização da área de estudo .....	64
1.2	Geologia e hidrogeologia local.....	66
2.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	67
3.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	69
3.1	Sistema Aquífero Bauru (SAB) .....	71
3.2	Sistema Aquífero Guarani.....	74
3.3	Sistema Aquífero Serra Geral.....	78
4.	CONCLUSÕES.....	79
5.2	ANÁLISE ESTATÍSTICA DE PARÂMETROS DOS TRÊS SISTEMAS AQUÍFEROS .....	81

5.3.2	Sistema Aquífero Bauru.....	82
5.3.3	Sistema Aquífero Serra Geral .....	83
5.3	ANÁLISE DO PARÂMETRO NITRATO NOS SISTEMAS AQUÍFEROS BAURU E SERRA GERAL.....	87
6.	CONCLUSÕES.....	93
	REFERÊNCIAS .....	96
	APÊNDICE 1: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE POÇOS TUBULARES PROFUNDOS .....	101
	APÊNDICE 2: POÇOS DO SAG COM MEDIÇÕES DE NÍVEIS ESTÁTICOS NOS ÚLTIMOS 5 ANOS COMPARADOS À MEDIÇÃO NA DATA DA PERFURAÇÃO .....	102
	APÊNDICE 3 - TABELA DE DADOS DE NÍVEIS ESTÁTICOS DO SAB NOS ANOS DE 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 E 2016, PARA OS 30 POÇOS TUBULARES PROFUNDOS .....	103
	APÊNDICE 4 - 85 POÇOS DO SASG COM MEDIÇÕES DE NÍVEIS ESTÁTICOS NOS ÚLTIMOS 5 ANOS E COMPARADOS À MEDIÇÃO NA DATA DA PERFURAÇÃO ...	105
	APÊNDICE 5 - VAZÕES DO SAB NO TESTE DE BOMBEAMENTO E EXPLOTADAS ATUALMENTE.....	108
	APÊNDICE 6: TABELA DE VAZÕES DO SAG NO TESTE DE BOMBEAMENTO E EXPLOTADAS ATUALMENTE .....	109
	APÊNDICE 7 - VAZÕES DO SASG NO TESTE DE BOMBEAMENTO E EXPLOTADAS EM 2016 E PROFUNDIDADES DE ENTRADA DE ÁGUA .....	110

## ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação de mestrado está estruturada de acordo com as normas do Programa de Pós Graduação em Geologia, na qual os resultados da pesquisa devem ser elaborados na forma de um artigo científico.

O primeiro capítulo dessa dissertação apresenta a introdução, as justificativas da pesquisa, os objetivos gerais/ específicos e as hipóteses que motivaram a pesquisa. No segundo capítulo é realizada a fundamentação teórica do tema por meio de referências bibliográficas amplamente conhecidas, para a descrição de conceitos utilizados no decorrer do desenvolvimento da pesquisa. No terceiro capítulo está descrita a caracterização da área de estudos com a localização dos poços tubulares profundos, geologia e hidrogeologia regional e local.

O capítulo 4 refere-se aos materiais e métodos utilizados. Nesse capítulo é abordado um descritivo de todos os parâmetros utilizados na pesquisa.

O capítulo 5 aborda os resultados procedentes dessa pesquisa. O primeiro resultado é um debate da variação potenciométrica nos sistemas aquíferos Bauru, Guarani e Serra Geral no município de Campo Grande e sua capacidade produtiva. Esses resultados serão submetidos à Revista Águas Subterâneas.

Nesse mesmo capítulo são discutidas estatisticamente as concentrações de alguns parâmetros estudados para o município e sua comparação com os valores de Potabilidade da Portaria 2.914 (Brasil, 2011). Além disso, é abordado o comportamento do parâmetro nitrato nos sistemas aquíferos livre do município de Campo Grande.

O capítulo 6 faz uma integração dos resultados obtidos nessa pesquisa e também sugere-se uma discussão para trabalhos futuros nessa área.

Finaliza-se essa dissertação com as referências que foram utilizados no decorrer de toda essa pesquisa e os apêndices elaborados pela mestrandia durante o período da pesquisa, incluindo um mapa de localização dos poços tubulares profundos em folha A3.



## 1. INTRODUÇÃO

O estudo hidrodinâmico e hidrogeoquímico realizado por meio de dados de poços tubulares profundos é a principal ferramenta para o entendimento do comportamento das águas subterrâneas.

A perfuração de um poço tubular profundo deve ser projetada como uma obra complexa de engenharia e não somente como um dispositivo de captação de água. A forma com que a perfuração ocorre impactará diretamente na quantidade e qualidade da água explotada. Assim, com o entendimento hidrogeológico a eficácia na captação de água subterrânea é ampliada.

A hidrogeologia é o ramo da hidrologia que estuda a água subterrânea e sua relação ao seu ambiente geológico. Os aspectos hidrodinâmicos envolvem a dinâmica do poço tubular, como variação de níveis estáticos e dinâmicos, vazões explotadas, rebaixamentos e capacidades específicas.

Os testes de bombeamentos realizados após a perfuração dos poços são utilizados para dimensionar a quantidade de água que pode ser produzida por um poço tubular profundo. A capacidade específica é um indicativo direto da potencialidade hídrica dos sistemas aquíferos.

A análise da precipitação é relevante para auxiliar no entendimento de variações dos níveis estáticos de aquíferos livre e nas espessuras saturadas dos aquíferos livres.

O estudo hidrogeoquímico aborda os aspectos físico-químicos da água, contemplando sua interação com as rochas hospedeiras. Esse estudo se faz necessário para determinar se a presença de um elemento químico na água é natural ou de origem antrópica. Em áreas nas quais a ausência de saneamento básico se fez presente por muitos anos, o monitoramento de dados, principalmente da concentração do parâmetro nitrato, é imprescindível.

Como o objeto da pesquisa são poços tubulares profundos destinados ao abastecimento público, as anomalias de concentração do parâmetro nitrato consideradas nessa pesquisa foram estabelecidas pela Portaria número 2914 do Ministério da Saúde de 12/12/2011 (Brasil, 2011) que *“Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade”*, (estabelecido como valor máximo permitido 10 mg/L (Brasil, 2011)). Assim, os valores acima desse máximo

permitido foram considerados e tratados como possível fonte de contaminação antrópica. Com isso, pode-se avaliar se há um potencial de contaminação dos sistemas aquíferos.

Essa pesquisa contempla o uso de dados de monitoramento de 130 poços tubulares profundos de três sistemas aquíferos no município de Campo Grande, estado do Mato Grosso do Sul, na região centro oeste do Brasil. Os sistemas aquíferos estudados são: Sistema Aquífero Bauru (SAB), Sistema Aquífero Guarani (SAG) e Sistema Aquífero Serra Geral (SASG).

## 1.1 JUSTIFICATIVAS

Os debates constantes sobre a escassez de recursos hídricos superficiais no país tem atraído muitas atenções ao estudo de fontes alternativas de abastecimento de água, como exemplo, por meio de poços tubulares profundos.

A captação de água subterrânea por poços tubulares profundos é uma importante fonte alternativa de abastecimento aos locais nos quais o potencial hídrico superficial não atende a demanda do abastecimento. No município de Campo Grande, 46% do abastecimento público é feito por meio de poços tubulares profundos e 54% através de duas captações superficiais. Dessas, a principal fonte de abastecimento superficial do município de Campo Grande, a captação Guariroba, dista 30 quilômetros da estação de tratamento de água, onerando o custo de adução e colocando em risco o abastecimento do município, em caso de rompimento da adutora. Com isso, é imprescindível que se tenha um estudo detalhado dos sistemas aquíferos, a fim de conhecer os aspectos hidrodinâmicos e a qualidade das águas subterrâneas.

Esse projeto de pesquisa tornou-se possível pelo acesso ao acervo de dados de poços tubulares profundos, utilizados no abastecimento público do município de Campo Grande e que foram disponibilizados pela concessionária Águas Guariroba, administradora dos serviços de saneamento desse município. Esses dados, em alguns poços, somam 30 anos de parâmetros a serem analisados, interpretados e constituem parte relevante para o entendimento dos sistemas aquíferos.

O avanço científico no estudo das águas subterrâneas, além de divulgar particularidades e comportamento dos aquíferos, visa também o cumprimento da legislação sobre gerenciamento de recursos hídricos e águas subterrâneas.

## 1.2 HIPÓTESES

A pergunta central desse trabalho é se existem alterações nos níveis estáticos e de concentrações do parâmetro nitrato ao longo dos anos nos sistemas aquíferos utilizados para o abastecimento público de Campo Grande. A resposta a essa pergunta será por meio da avaliação temporal de dados de poços tubulares profundos.

Os pressupostos podem ser justificados em função ao conhecimento anterior relativo ao modelo hidrogeológico conceitual da área. Assim, para a realização dessa pesquisa, partiu-se do pressuposto que :

- Sistema Aquífero Bauru: Sim, existem alterações dos níveis estáticos e do nitrato.
- Sistema Aquífero Serra Geral: Não, não existem alterações de níveis estáticos, mas sim, ocorrem alterações de nitrato.
- Sistema Aquífero Guarani: Sim, existem alterações de níveis estáticos, porém não há alterações do nitrato.

## 1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral desse trabalho são as variações temporais da potenciometria e das concentrações do parâmetro nitrato de três sistemas aquíferos: Sistema Aquífero Bauru (SAB), Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) e Sistema Aquífero Guarani (SAG), na área urbana do município de Campo Grande, MS.

### 1.3.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos dessa pesquisa centralizam-se em:

- ✓ Determinar a espessura saturada dos sistemas aquíferos sedimentares: Bauru e Guarani, e classificar as vazões explotáveis dos mesmos.
- ✓ Classificar as vazões explotáveis do Sistema Aquífero Serra Geral.
- ✓ Determinar as variações das concentrações do parâmetro nitrato nos três sistemas aquíferos explotados no município.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As águas subterrâneas são utilizadas pelo homem desde a idade antiga (Tolman, 1937). Há registros de abertura de poços há cerca de 2100 anos a. C (Johnson, 1972) e poços e túneis, construídos para captação de águas subterrâneas por volta de 800 a.C (Manoel Filho, 2000). A evolução do conhecimento sobre o estudo das águas subterrâneas surgiu somente no início da era cristã, com a explicação do arquiteto romano Vitruvius sugerindo que a infiltração da água da chuva no solo seria responsável pelo acúmulo de água no subsolo (Manoel Filho, 2000).

O sucesso da perfuração de poços, em substituição de escavações, foi na cidade de Artois, França em 1.126. A perfuração de poços tubulares profundos teve um impulso em Paris, em 1.857, no qual foi perfurado um poço tubular de 586 m de profundidade, com vazão de 21.150 m<sup>3</sup> de água por dia (Johnson, 1972).

No Brasil, os avanços da hidrogeologia concentraram-se no nordeste, na primeira metade do século XX, em virtude do combate a seca e, geralmente, associadas a obras emergenciais.

O conceito de hidrogeologia, sendo o ramo da geologia que estuda água subterrânea, foi introduzido pelo inglês Joseph Lucas, em 1877 (Manoel Filho, 2000). Os trabalhos mais significativos foram implantados a partir da criação da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste, SUDENE, em 1960, nos quais houve o início do desenvolvimento de estudos da hidrogeologia brasileira. A perfuração de poços começou a ser realizada por pessoas especializadas com estudos de caráter exploratório e de detalhe, além de testes de produção de poços serem conduzidos obedecendo a metodologia universal. O trabalho pioneiro na hidrogeologia, no país e na América latina, foi o de Pioger, em 1964, “Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste”, com escala de 1:500.000. Esse trabalho descreveu de maneira sistemática os aquíferos da região, avaliando as potencialidades e disponibilidades hídricas em termos de quantidade e qualidade.

Nos anos 70, houve o avanço de estudos hidrogeológicos em outras regiões do país e nos anos 80 ocorreu uma desaceleração e precariedade dos avanços dos estudos hidrogeológicos.

Os fatores de competitividade das águas subterrâneas em relação a água superficial podem ser visualizados no quadro 1 (Albuquerque e Oliveira, 1999).

QUADRO 1: FATORES DE COMPETITIVIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

1. Volumes estocados grandes e suas velocidades de fluxo muito baixas (cm/dia) resultam em que o manancial é pouco afetado pelas variações sazonais de pluviometria, podendo propiciar um abastecimento regular durante os períodos de seca ou estiagem prolongadas.
2. Pelo fato de ocorrerem no subsolo sob uma zona de material rochoso não-saturado ou camadas rochosas pouco permeáveis, as águas subterrâneas encontram-se relativamente melhor protegidas contra agentes potenciais ou efetivos de poluição.
3. Quando captadas de forma adequada, na sua utilização, geralmente, não se tem custos de clarificação, tratamento ou purificação – os processos de filtração e biogeoquímicos de depuração do subsolo proporcionam um alto nível de purificação e potabilidade das águas subterrâneas.
4. Os prazos de execução das obras de captação são relativamente curtos – da ordem de dias até alguns meses.
5. Os investimentos em geral são relativamente pequenos – variando entre dezenas a centenas de milhares de reais.
6. Os aquíferos não sofrem processos de assoreamento, nem perdem grandes volumes de água por evaporação.

FONTE: Modificado de ALBUQUERQUE E OLIVEIRA, 1999

Atualmente, a captação por água subterrânea é parte imprescindível no abastecimento do país e pode ter sua dimensão confirmada, através da Figura 1.

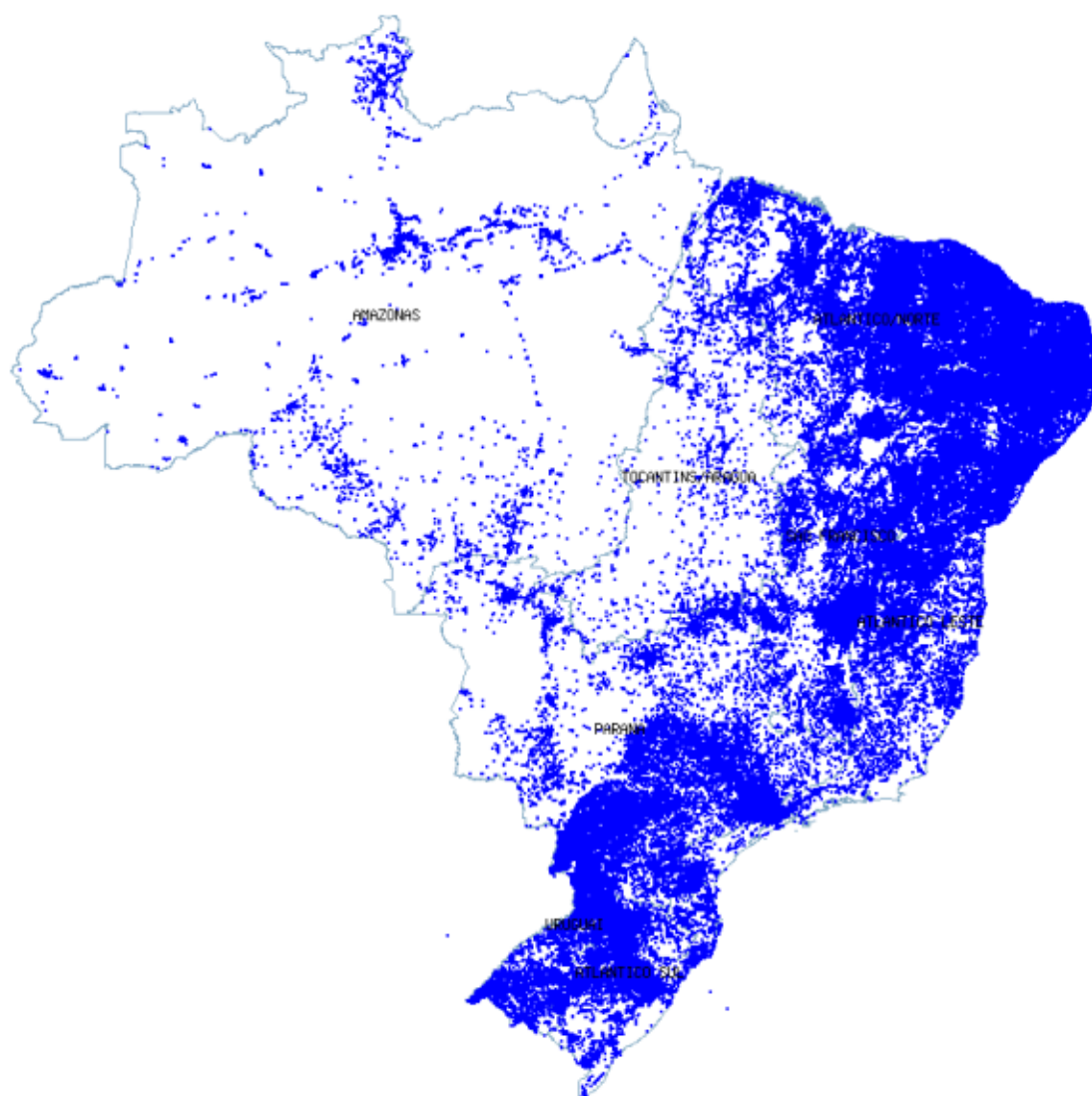


Figura 1: Representação da densidade de poços tubulares profundos perfurados com cadastro no sistema de informações de águas subterrâneas - SIAGAS ( CPRM, 2017).

Ressalta-se por meio da figura 1 que a maior quantidade de poços concentra-se nas regiões nordeste e sul – sudeste. Pode-se dizer que na primeira a demanda é por escassez de recursos superficiais e na segunda pela oferta de disponibilidade subterrânea e elevada concentração populacional.

A responsabilidade do gerenciamento das águas subterrâneas compete ao estado, conforme a Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988), no artigo 26, que:

“inclui como bens do estado: I - as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito(...)” (BRASIL, 1988).

Em 1997, a Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a política nacional de recursos hídricos teve como premissa básica os seguintes fundamentos (BRASIL, 1997):

- I – a água é um bem de domínio público;
- II - a água é um recurso natural limitado, com valor econômico;
- III- em situações de escassez, o uso prioritário é para consumo humano e dessedentação animal;
- IV - a gestão deve proporcionar o uso múltiplo das águas;
- V – adoção de bacia hidrográfica como unidade territorial;
- VI – gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e participativa.

Além disso, essa lei enfatiza que os planos de recursos hídricos são estudos de longo prazo e integrados, entre crescimento demográfico, atividades produtivas, padrões de ocupação do solo, balanço de disponibilidades e demandas futuras.

Nesse contexto, os Planos Estaduais de Recursos Hídricos remetem a expectativa de progresso na hidrogeologia, através de gerenciamento de águas subterrâneas, contendo progressos nos métodos exploratórios e exploração de poços.

A legislação que dispõe sobre administração, proteção e conservação das águas subterrâneas de domínio do estado do Mato Grosso do Sul é a Lei nº 3.183, (21 de fevereiro de 2006).

Nesse estado, a exemplo do que tem se aplicado ao restante do país, o Plano Estadual de Recursos Hídricos é um estudo recente, datado de 2010. Analisando que a água tem uso prioritário em casos de escassez para consumo humano e dessedentação animal, é de relevada importância o estudo e integração de dados já existentes, enfatizando a sua importância no abastecimento público.

Com isso, a implantação efetiva do gerenciamento integrado das águas subterrâneas deve ser constantemente aperfeiçoado e monitorado.

## 2.1 AQUÍFEROS

Os aquíferos são definidos por Fitts (2015) como um reservatório com água abaixo da superfície e com condutividades hidráulicas variáveis. Custodio



e Llamas (1976) definem o aquífero como um estrato da formação geológica que permite a circulação de água subterrânea por poros e/ou fraturas e que pode ser aproveitado economicamente. Manoel Filho, (2000) classifica como uma formação geológica que contém água e permite que quantidades dessa água transitem pelo interior da rocha em condições naturais.

Os tipos de aquíferos são classificados em função da pressão das superfícies limítrofes ou pela capacidade de transmissão de água nessas camadas limítrofes. Assim, podem ser classificados como livres, semi confinados ou confinados.

No aquífero confinado, toda a espessura do aquífero é saturada e apresenta uma camada de material impermeável no topo (Fitts, 2015). Pelo fato de a água estar contida nos interstícios da formação aquífera e ter uma camada superior confinante, a pressão nesse aquífero é superior a pressão atmosférica (Johnson, 1972). Esse tipo de aquífero também pode ser chamado de aquífero sob pressão, caracterizado pela pressão de água no topo do aquífero ser maior que a pressão atmosférica (Manoel Filho, 2000).

O aquífero livre é aquele no qual o limite superior apresenta pontos com pressões iguais a pressão atmosférica, como se estivesse em um reservatório ao ar livre (Johnson, 1972).

No aquífero semi confinado ele apresenta na base, topo ou ambos um limite no qual a permeabilidade é menor do que no aquífero. Nesse caso, o fluxo preferencial da água é ao longo da camada aquífera, mas pode ocorrer secundariamente através das camadas semi-confinantes, pela diferença da pressão hidrostática entre camadas (ABAS, 2017).

Custódio e Llamas (1976) definem um sistema aquífero como um conjunto de componentes físicos e geométricos, que na hidrogeologia podem ser descritos por parâmetros, tais como a forma e os limites dos aquíferos; como também transmissibilidade e coeficiente de armazenamento.

A Agência Nacional de Águas (ANA) define um sistema aquífero como um conjunto de unidade aquíferas contínuas e ligadas hidraulicamente e que podem ser análogas ao grupos de rochas que o formam.

## 2.2 GEOMETRIA DOS AQUÍFEROS

Custodio e Llamas (1976) apresenta que a caracterização da geometria de um aquífero deve ser baseada em estudos diversos que leve em consideração mapas: geológico estruturais, potenciométricos e profundidade da zona saturada abaixo da superfície. Além disso, ressalta que a estimativa da reserva de água subterrânea é extremamente útil nas considerações entre as variações de recarga e descarga.

A caracterização espacial dos limites e variações de espessuras dos aquíferos deve ser avaliado através de mapas estruturais, piezométricos, de profundidade de água subterrânea, de isóbatas, isópacas do aquífero (Feitosa, 2000).

## 2.3 DADOS HIDRODINÂMICOS

Os princípios da hidrodinâmica dos aquíferos envolvem alguns parâmetros fundamentais na hidrogeologia: porosidade efetiva, vazão, capacidade específica, transmissividade, condutividade hidráulica e coeficiente de armazenamento.

A porosidade de uma rocha pode ser definida, segundo Manoel Filho (2000) como a relação entre o volume de vazios e o volume total dessa rocha. Na hidrogeologia não utiliza-se a porosidade total da rocha, mas sim a porosidade efetiva que é a quantidade de água fornecida por unidade de volume do material.

Vazão é a quantidade de água que pode ser produzida por um poço em função do tempo.

Capacidade específica é a quantidade de água extraída de um poço em função do rebaixamento que esse poço apresenta. Esse rebaixamento é a diferença entre o nível dinâmico e o nível estático do poço.

Permeabilidade é definida como a capacidade de um meio poroso transmitir água (Johnson, 1972) e a facilidade com que um material deixa passar água através de si (Custódio e Llamas, 1976).

A transmissividade é a capacidade do meio de transmitir água (Custódio e Llamas, 1976). Pode ser entendida também como a quantidade de água que pode ser transmitida por toda a espessura saturada do aquífero.

A condutividade hidráulica leva em consideração as características do meio poroso (porosidade, tamanho, distribuição, forma e arranjo das partículas) e das propriedades do fluido. Ela pode ser calculada como uma razão da transmissividade pela espessura saturada do aquífero (Manoel Filho, 2000).

O coeficiente de armazenamento é o volume de água que sai ou entra no aquífero, por unidade de área horizontal do aquífero e por unidade de variação do rebaixamento (Johnson, 1972).

O coeficiente de transmissividade de um aquífero é a vazão da água que escoar através de uma faixa vertical de largura unitária e espessura igual à da camada saturada quando o gradiente hidráulico for igual a 1 (Johnson, 1972).

Os dois coeficientes descritos anteriormente são importantes para definir as características hidráulicas da formação geológica, sendo que o coeficiente de transmissibilidade indica quanto de água se moverá através da formação e o coeficiente de armazenamento indica o quanto de água pode ser removido por drenagem ou bombeamento (Johnson, 1972).

Para os aquíferos fraturados levam-se em consideração parâmetros de capacidade específica e a profundidade da entrada de água.

Theis (1935) estudando a produção de poços levou em conta o efeito do tempo de bombeamento. Para isso, ele baseou-se nas seguintes ideias:

- A formação que contém água apresenta características uniformes e permeabilidade igual nas direções horizontal e vertical.
- A formação tem espessura uniforme.
- A formação tem área infinita.
- A formação não recebe recarga, de qualquer proveniência.
- O poço bombeado penetra e recebe a água em toda a espessura da formação aquífera.
- A água proveniente do armazenamento é descarregada instantaneamente, com a redução da carga.

## 2.4 ANÁLISES DE ÁGUA

As águas subterrâneas possuem características químicas próprias e/ou que acabam sendo adquiridas dependentemente do meio no qual ela se armazena.

Os sólidos totais dissolvidos (STD) são a massa de resíduos que fica em um recipiente, quando uma amostra de água é submetida a filtração e aquecimento total (Fitts, 2015). Johnson (1972) afirma que o STD podem ser determinados pelo peso do resíduo seco da evaporação. Santos (2000) diz que representa a concentração de todo material dissolvido em água, sendo um pouco superior ao que sobra de resíduo seco em função de volatilizações ocorridas nesse processo. O padrão de potabilidade brasileiro da Portaria 2914/11 (Brasil, 2011) confere um valor máximo de 1000 mg/L.

O potencial hidrogeniônico (pH) indica a concentração do íon de hidrogênio na água e aponta se a água atua como uma solução alcalina ou um ácido fraco. O pH igual a 7,0 indica uma solução neutra, pH menores que 7,0 condições ácidas e maiores que 7,0 soluções alcalinas (Johnson, 1972). Appelo e Postma (2005) definem que os pH ácidos podem acontecer nos aquíferos para as seguintes situações:

1. Poços em maiores altitudes,
2. Níveis de água mais próximos à superfície,
3. Poços em zona de recarga,
4. Presença de água com pouco tempo de residência nos aquíferos,

O padrão de potabilidade brasileira da Portaria 2914/11 (Brasil, 2011) confere um intervalo de valor entre 6 e 9,5 como o limite aceitável.

A condutividade elétrica (CE) é facilidade da água em conduzir corrente elétrica, sendo diretamente em função das concentrações de todos os solutos iônicos dissolvidos.

Os principais solutos inorgânicos comuns na água são cálcio, magnésio, sódio, potássio, bicarbonato, cloreto, sulfato, CO<sub>2</sub> dissolvido e sílica coloidal. Os constituintes secundários são ferro total, estrôncio, carbonato, fluoreto, nitrato e boro (Fitts, 2015). Com esses constituintes pode-se padronizar a classificação hidroquímica das águas, que classifica em qual elemento químico a água é mais enriquecida.

A dureza provém da quantidade de cálcio e magnésio que se tem na água. O padrão de potabilidade brasileiro da Portaria 2914/11 (Brasil, 2011) confere um valor máximo de 500 mg/L.

O nitrato é resultante da combinação de um átomo de nitrogênio com três átomos de oxigênio ( $\text{NO}_3$ ) (Johnson, 1972). Ele pode ser representado em análises de água como íon nitrato ou íon nitrogênio, sendo uma parte de nitrogênio equivalente a 4,4 partes de nitrato (Johnson, 1972). A presença desse íon na água subterrânea não é natural, sendo de origem antrópica. O padrão de potabilidade brasileiro da Portaria 2914/11 (Brasil, 2011) confere um valor máximo de 10 mg/L, sendo o nitrato representado nas análises do boletins de água como  $\text{N-NO}_3$ .

A utilização do parâmetro nitrato como indicador de contaminação de águas subterrâneas é de reconhecimento mundial, devido a sua grande mobilidade e capacidade de atingir extensas áreas (Varnier, 2010). Para áreas urbanas, destaca-se a ausência de saneamento e ao vazamento de redes de esgoto existentes (Varnier, 2010). Contaminações antrópicas com nitrato em águas subterrâneas do Sistema Bauru foram relacionadas a urbanização e a porções mais rasas do aquífero por Cagnon e Hirata (2004). Stigter, Carvalho Sill e Ribeiro (2011) relacionaram a concentração de nitrato a recarga sazonal: em anos com precipitação elevada a tendência era diminuir a concentração e, em anos com seca, a tendência era da concentração do nitrato aumentar. Smith e Kellman (2011) em estudo feito para o Canadá, associaram uma maior concentração de nitrato com a precipitação maior, causada pela lixiviação de fertilizantes agrícolas que carrega o material de superfície e da zona não saturada para a zona saturada. Wheeler *et al.* (2015) fez a modelagem da concentração de nitrato em águas subterrâneas em Iowa, enfatizando mais sua contaminação por insumos agrícolas e constatou uma diminuição de nitrato conforme o aumento da profundidade dos poços. Zhang *et al.* (2015) associou como o principal mecanismo da contaminação de nitrato na água subterrânea na China o crescimento populacional e a ocupação urbana, sendo as águas residuais domésticas e industriais como principais fontes poluidoras.

### 3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO À ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo desse trabalho, o município de Campo Grande, está inserida na região centro oeste do Brasil, geograficamente na porção central do estado do Mato Grosso do Sul (Figura 2). Sua área urbana está delimitada pelas coordenadas geográficas: latitude  $20^{\circ}26'34''\text{S}$  e longitude  $54^{\circ}38'47''$  e a cota altimétrica do município varia entre 500 a 699 metros. O acesso é pela BR-262, que corta o estado em direção leste-oeste, ligando ao estado de São Paulo, e pela BR-163, que atravessa o estado na direção norte-sul, ligando o Mato Grosso do Sul aos estados do Paraná e Mato Grosso.

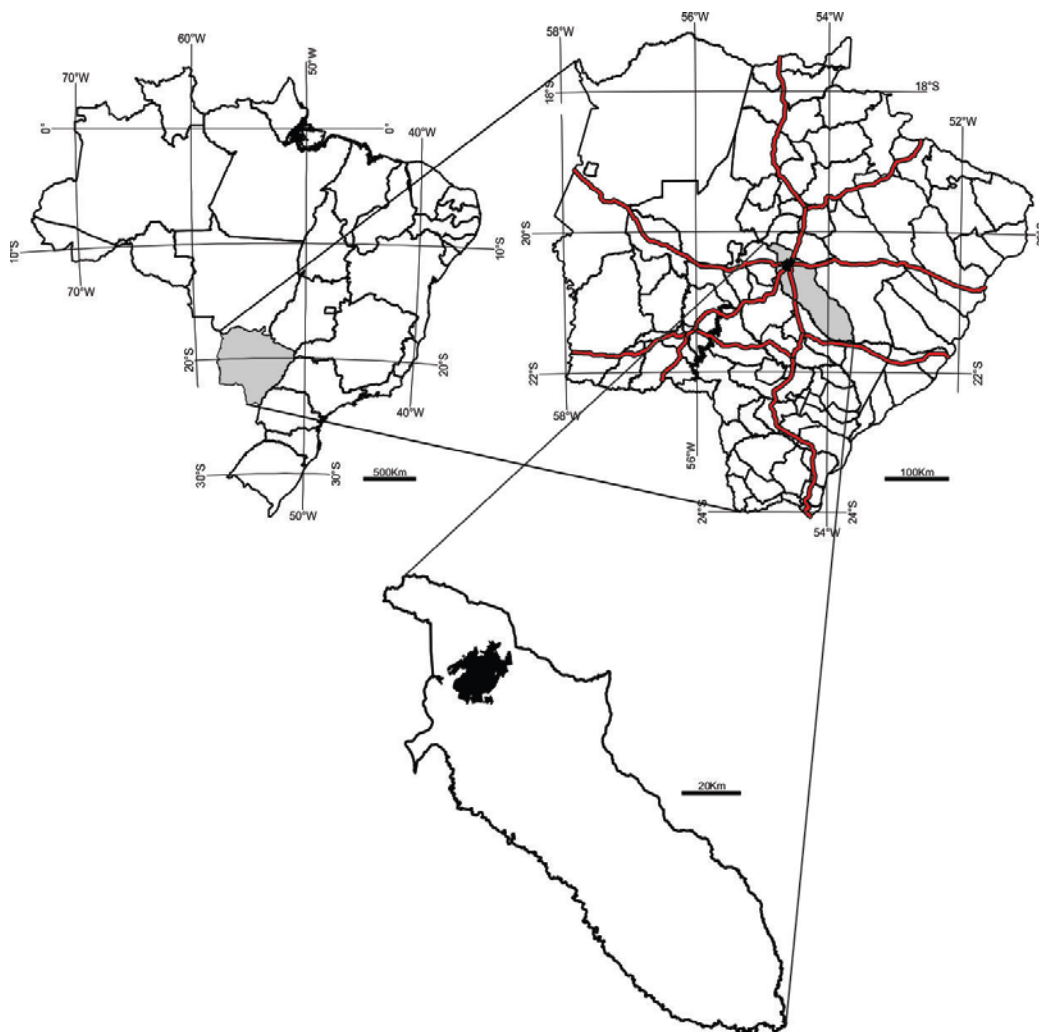


Figura 2: Mapa de localização do município de Campo Grande (MS) e delimitação da área urbana com divisão dos municípios do estado e principais rodovias de acesso.



A área urbana do município de Campo Grande localiza-se predominantemente na bacia do rio Paraná, sub bacia do rio Pardo, contemplando uma área de 7.552,362 km<sup>2</sup> e 93,28% nessa Unidade de Planejamento e Gerenciamento. Uma parte do município de Campo Grande, que não engloba a área urbana, localiza-se na bacia do rio Paraguai, sub bacia do rio Miranda com área de 543,689 km<sup>2</sup> e 6,72% nessa Unidade de Planejamento e gerenciamento.

O gerenciamento hídrico do estado é realizado pelo Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul – IMASUL e o plano estadual de recursos hídricos é datado de 2010. O sistema de gerenciamento de recursos hídricos do estado prevê o debate de questões relacionadas aos recursos hídricos por meio de comitês de bacias. Nessa área de estudo, têm vigência o Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Miranda.

A captação superficial é reponsável por 54% do abastecimento municipal através do represamento de dois córregos: Guariroba e Lageado, inseridos na Bacia do Rio Paraná, sub bacia do Rio Pardo.

O clima varia com médias de temperatura mais quente superior a 25°, com mês mais seco inferior a 30 mm de precipitação, sendo estações marcadas de chuva no verão e seca no inverno. O período de menor precipitação concentra-se entre junho e agosto, sendo o mês de agosto o mais seco e, os de maiores precipitações entre outubro e abril (Campo Grande, 2017).

Através de dados da Estação Meteorológica Automática - EMA; do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), foi possível verificar a precipitação dos últimos 15 anos no município de Campo Grande (CEMTEC, 2017) (Tabela 1). Essa estação está instalada desde 11/09/2001 no município de Campo Grande, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 20,447195°S, longitude 54,722615°O e 528 metros de altitude; sendo o número do código da estação A702 e código da Organização Mundial Meteorológica número 86810.

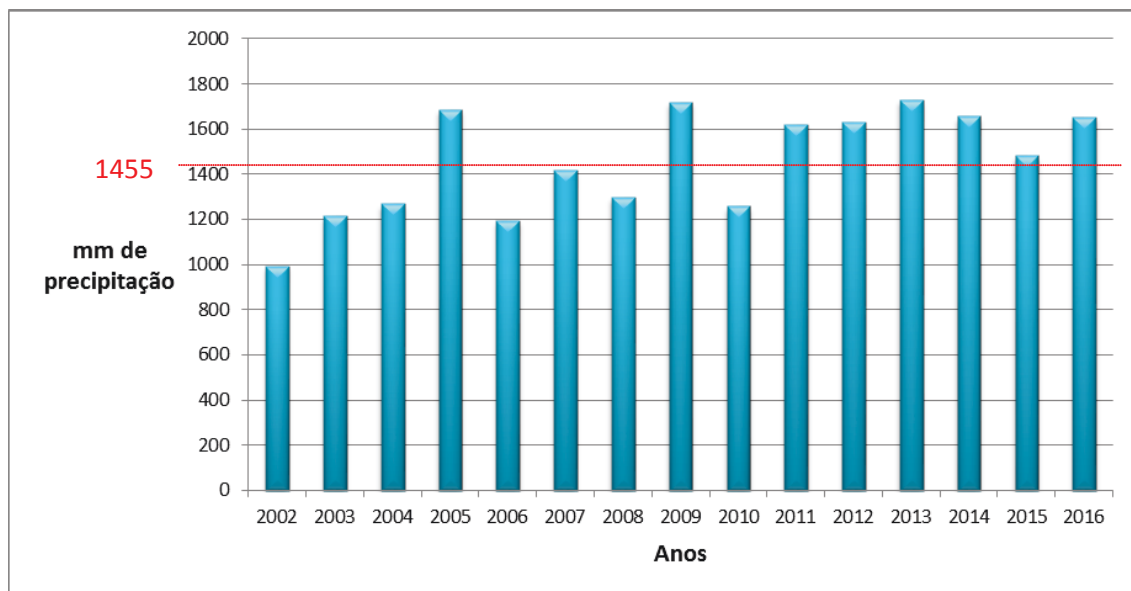


TABELA 1: ACUMULADO DE PRECIPITAÇÃO DO PERÍODO DE 2002-2015, COM A PRECIPITAÇÃO ACUMULADA NO ANO E MENSAIS (ADAPTADO DO CENTRO DE MONITORAMENTO DO TEMPO, CLIMA E RECURSOS HÍDRICOS DE MATO GROSSO DO SUL – CEMTEC).

MESES	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Média	Mediana
<b>Janeiro</b>	131	321,2	57,2	248	165	441,6	255,8	218,8	243,4	201,3	210,8	212	231,9	245,8	350	235,5	231,9
<b>Fevereiro</b>	103,8	90,6	109,2	135,8	201,6	179,2	151,2	158,8	256,6	318	171,8	216,4	174	161	370	186,5	171,8
<b>Março</b>	99,2	149,2	59,4	169	143,8	72,2	212,4	256,2	71,8	426,3	57,2	186,8	155	72,6	120	150	143,8
<b>Abril</b>	48,2	139,2	151	75	72,8	81,8	93,4	0	107,8	139,4	234,8	226,8	49,4	100	60	105,3	93,4
<b>Mai</b>	71,4	78,2	163	103,75	0	85,8	83,2	82,8	67,2	2,4	76,8	15,2	183	135,6	170	87,9	82,8
<b>Junho</b>	0,4	39,6	86,2	141,4	19,6	15,5	6	80,2	8,8	34	244,4	182,4	54,2	40,4	50	66,8	40,4
<b>Julho</b>	118,8	29,2	54,6	20,2	6	39,4	0	48,4	21,6	13,2	14,8	51	119,2	79,4	65	45,3	39,4
<b>Agosto</b>	37,2	105,4	0	9,6	28,6	0	52,4	154,4	0	27,4	1,2	0	17,2	8,6	85	34,8	17,2
<b>Setembro</b>	57,6	63,4	42	98,8	83,4	4,4	55,6	65,2	127	61	122	101,8	65,8	201,8	50	79,9	65,2
<b>Outubro</b>	98,8	n/m	181	211	93,4	103,4	100,6	167,2	143,6	122,6	125	119,4	19	95,6	175	125,4	121
<b>Novembro</b>	109,6	75,8	98,6	236,4	209	165,2	97,2	202	101,8	121,4	190,2	249,6	225,6	150	15	149,8	150
<b>Dezembro</b>	118,2	124,4	266,6	237	174	229,6	192,2	285,4	109,4	155,2	181	170,8	364,2	190,8	150	196,5	181
<b>Acumulado ano (mm)</b>	<b>994,2</b>	<b>1.216,2</b>	<b>1.268,8</b>	<b>1.685</b>	<b>1.197</b>	<b>1.418</b>	<b>1.300</b>	<b>1.719</b>	<b>1.259</b>	<b>1.622</b>	<b>1.630</b>	<b>1.732</b>	<b>1.658</b>	<b>1.481</b>	<b>1.655</b>	<b>1.455</b>	<b>1.481</b>

Com o histórico de chuvas acumulada por mês foi calculado a somatória e quantificada a precipitação anual, gerando o gráfico de precipitação anual do município (Gráfico 1), compreendendo o período entre 2002 a 2016.

GRÁFICO 1: PRECIPITAÇÃO ANUAL ACUMULADA ENTRE OS ANOS DE 2002 E 2016



FONTE: INMET

Elaboração através do banco de dados do INMET

O valor médio de precipitações anuais desse período de 15 anos chegou ao valor de 1.455 mm e a mediana 1.481 mm. Com o gráfico, podemos visualizar que os anos de 2002, 2003, 2004, 2006, 2007, 2008, 2010 a precipitação foi inferior a média calculada para esse intervalo de tempo.

Os dados apontam que nos meses de junho, julho, agosto e setembro há uma escassez de precipitação. Em contrapartida, os meses com maiores volumes acumulados de precipitação ocorrem nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro.

É necessário que se analise o histórico de precipitações quando se estuda sistemas aquíferos livres. Essa consideração é importante visto que a precipitação acarreta diretamente na recarga desses sistemas.

SEMAC (2010) relata que o balanceamento hídrico climatológico na região desse trabalho apresenta deficiência hídrica nos meses de julho, agosto e setembro e dados anuais mostram a que estação de Campo Grande

apresenta uma evapotranspiração real de 1.107 mm, excedente hídrico de 361 mm e deficiência de 15 mm.

### 3.4 GEOLOGIA

No que se refere ao contexto geológico, os três sistemas aquíferos: Bauru, Guarani e Serra Geral estão inseridos no contexto geotectônico da Bacia Sedimentar do Paraná (Milani, *et al.* 2007). Já CPRM, 2014 classifica o Sistema Aquífero Bauru inserido no contexto tectônico da Bacia Sedimentar Bauru (Figura 4).



Figura 4: Localização das Bacias Sedimentares do Paraná e Bauru em território nacional. Mapa gerado a partir do contorno das formações geológicas pertencentes as bacias sedimentares Paraná e Bauru (elaborado pela autora).

O registro tectono-sedimentar da Bacia Sedimentar do Paraná compreende idades entre o Meso-Ordoviciano ao Eo-Cretáceo. Sua espessura sedimentar pode chegar a 7.000 metros na parte central da bacia, representada pela calha do rio Paraná (Milani *et al.*, 2007). O pacote

sedimentar da bacia é subdividido em supersequências relacionadas a diferentes tempos e mecanismos de subsidência e denominadas a seguir:

1. Sequência Ordovício-Siluriana, representada pelo Grupo Rio Ivaí;
2. Sequência Devoniana, representada pelo Grupo Paraná;
3. Sequência Neocarbonífera-Permiana, correspondendo aos grupos Itararé, Guatá e Passa Dois;
4. Sequência Triássica, presente somente na região sul da bacia (Grupo Rosário do Sul) e em São Paulo (Formação Pirambóia);
5. Sequência Jurássica-Eocretáceo, representada pelo Grupo São Bento (Formação Botucatu);
6. Sequência Neocretácea, representada pelos grupos Caiuá e Bauru.

Porém, há estudos em que a sequência Neocretácea, representada pelos grupos Caiuá e Bauru, é assumida como uma unidade tectônica distinta da Bacia Sedimentar do Paraná, (Fernandes, 1992; Fernandes e Coimbra, 1992; Fúlfaro e Perinotto, 1996; Fernandes e Coimbra, 1996; Riccomini, 1997; Fernandes e Coimbra, 2000; Menegazzo *et al.* 2016) e denominada Bacia Bauru. Essa bacia sobrepõe-se as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral e é representada por uma área de 379.362 km<sup>2</sup>, quase que em sua totalidade no Brasil (Menegazzo, 2016). Segundo Fernandes (1998), a Bacia Bauru se formou por subsidência termo mecânica, sobreposta as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. Segundo Menegazzo *et al.* (2016) a Bacia Bauru é uma resposta a carga supracrustal e deflexão flexural resultantes do início da orogenia andina, durante a migração para oeste da Placa Sul-Americana e a subducção da Placa Farallon. Ainda nesse trabalho, os autores fazem referências a Bacia Bauru fazer parte da província *back-bulge* de um *retroarc foreland system*, desenvolvido no oeste da América do Sul.

Na área de estudo desse trabalho, o intervalo estratigráfico, de importância hidrogeológica, são representados pelas formações Pirambóia, de idade Triássica, e Botucatu, de idade Juro-cretáceo; Formação Serra Geral, com idade Eo-cretáceo, e Bacia Bauru, assinalada na carta estratigráfica da Bacia Sedimentar do Paraná como uma sequência Neocretácea (Figura 5).

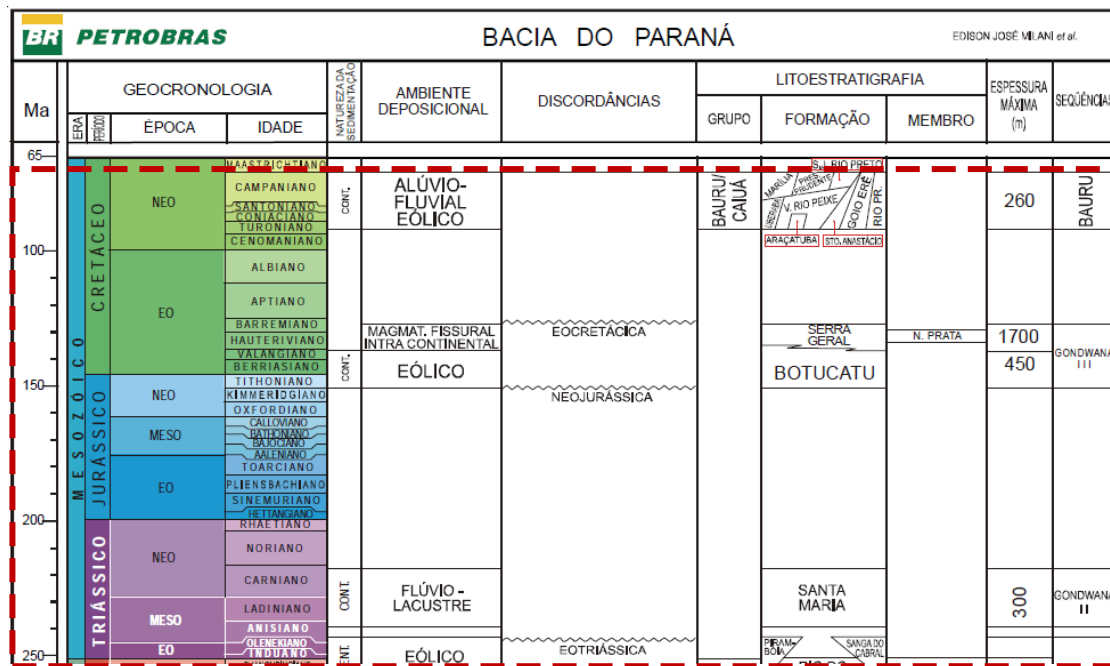


Figura 5: Intervalo estratigráfico de importância hidrogeológica a ser estudada nesse trabalho (Milani, 2007).

### 3.4.1 Geologia local

O município de Campo Grande é representado geologicamente pelas formações Botucatu, Serra Geral e Grupo Caiuá (Figura 6). A Formação Serra Geral aflora em aproximadamente 95% da área urbana do município de Campo Grande, sendo que nos 5% restantes aflora o Grupo Caiuá (CPRM, 2006). Na porção noroeste do limite da área do município de Campo Grande observa-se uma restrita faixa de afloramento da Formação Botucatu.

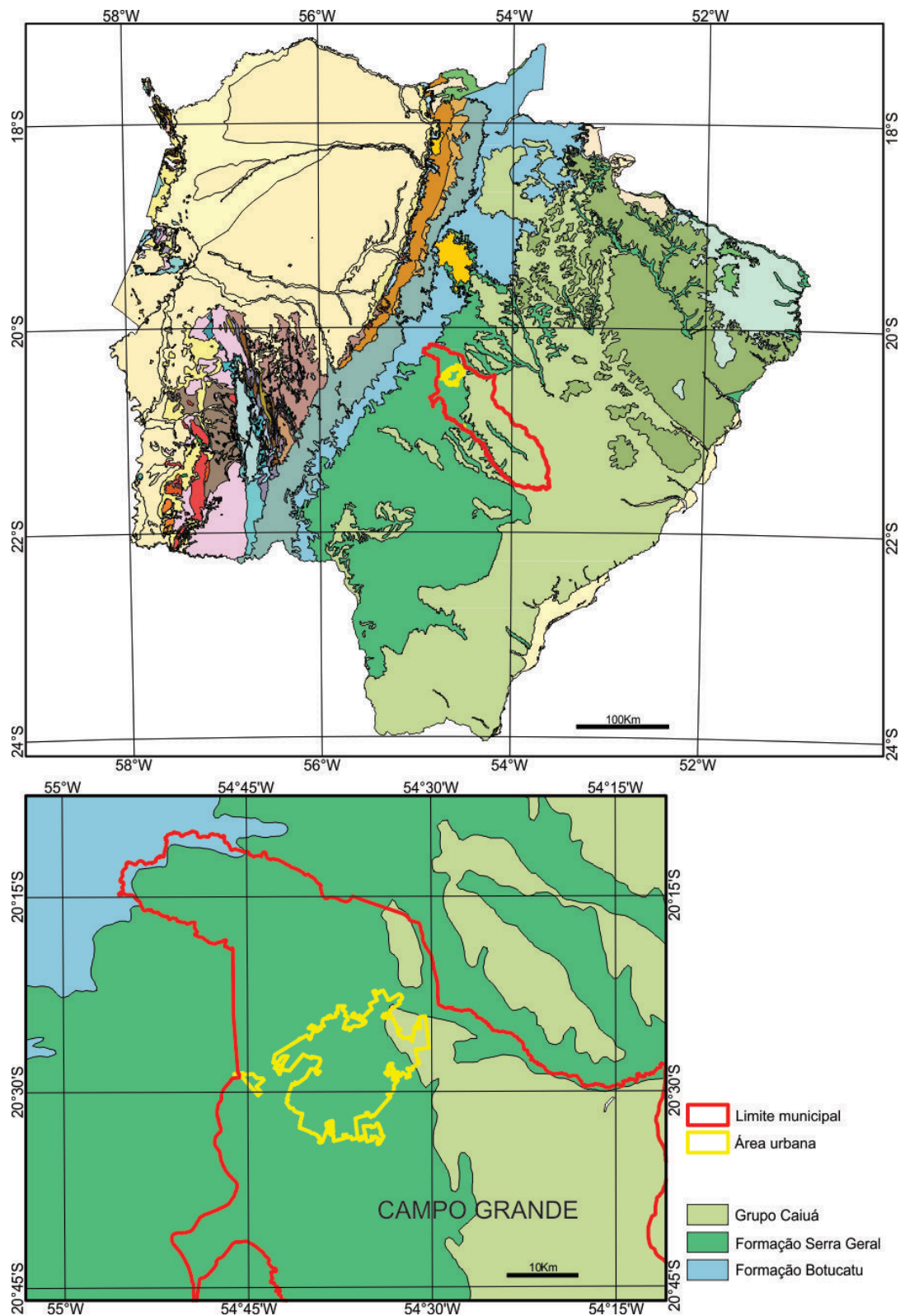


Figura 6: : Mapa geológico do estado do Mato Grosso do Sul, com detalhe do limite municipal e da área urbana de Campo Grande (CPRM, 2006).

A Formação Serra Geral aflora no município na forma de basaltos, com coloração escura com a seguinte composição: plagioclásio (labradorita) 40%; clinopiroxênio (augita) 35 %; vidro devitrificado em argilo-minerais (esmectita) 15 a 20%; opacos (magnetita e outros) 5 a 10% e apatita – traços (Lastoria, 2002). Segundo esse mesmo trabalho, há uma diferenciação na porosidade fissural aparente do basalto de base para o basalto de topo, sendo o primeiro menos poroso que o último.

Os perfis geológicos descritivos dos poços tubulares profundos perfurados no município de Campo Grande (com aproximadamente 150 metros de profundidade) apresentam dois pacotes de derrames basálticos, com características vesiculares e amigdaloidais no topo e maciço e sem fraturamento na base. Apresentam também um fraturamento maior nos primeiros 60-70 metros da litologia.

No estado do Mato Grosso do Sul são identificadas litologias do Grupo Caiuá, da Formação Santo Anastácio e as pertencentes ao Grupo Bauru, formações Vale do Rio do Peixe e Marília. A ocorrência restringe-se a porção central e leste, recobrando aproximadamente 40% do território do estado e limitando-se com o afloramento de basaltos da Formação Serra Geral (CPRM 2012).

O Grupo Caiuá restringe-se à porção nordeste da área urbana do município de Campo Grande e, conforme os perfis descritivos, apresenta em sua litologia um predomínio de granulação areia quartzosa, secundariamente feldspática, com granulação média, de coloração avermelhada. Um película ferruginosa é descrita como indicativo dessa coloração avermelhada nos grãos dessa formação.

### 3.5 CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Mato Grosso do Sul – PERH-MS, SEMAC (2010), as unidades hidrogeológicas ou sistemas aquíferos do estado de Mato Grosso do Sul (Figura 7) são identificados por dois grupos de rochas:

- as sedimentares, representando os aquíferos porosos,









- as ígneas-metamórficas, constituindo os aquíferos fraturados ou fissurais.

Os aquíferos porosos ocorrem nas bacias sedimentares do Paraná, Bauru e do Pantanal; e os fraturados, no embasamento cristalino e na Formação Serra Geral da Bacia Sedimentar do Paraná. Consideram-se oito unidades aquíferas para o Estado de Mato Grosso do Sul, sendo elas:

- Sistema Aquífero Cenozóico (SAC)
- Sistema Aquífero Bauru (SAB)
- Sistema Aquífero Serra Geral (SASG)
- Sistema Aquífero Guarani (SAG)
- Sistema Aquífero Aquidauana-Ponta Grossa (SAAP)
- Sistema Aquífero Furnas (SAF)
- Sistema Aquífero Pré-cambriano Calcários (SAPCC)
- Sistema Aquífero Pré-cambriano (SAP)



## AQUÍFEROS

- |   |  |
|---|--|
|  | SISTEMA AQUIFERO CENOZÓICO               |
|  | SISTEMA AQUIFERO BAURU                   |
|  | SISTEMA AQUIFERO SERRA GERAL             |
|  | SISTEMA AQUIFERO GUARANI                 |
|  | SISTEMA AQUIFERO AQUIDAUANA PONTA GROSSA |
|  | SISTEMA AQUIFERO FURNAS                  |
|  | SISTEMA AQUIFERO PRÉ-CAMBRIANO CALCÁRIOS |
|  | SISTEMA AQUIFERO PRÉ-CAMBRIANO           |

## UPG: Paragual

- L1 - UPG Iguatemi  
L2 - UPG Amambai  
L3 - UPG Ivinhema  
L4 - UPG Pardo  
L5 - UPG Verde  
L6 - UPG Sucuriú  
L7 - UPG Quitéria  
L8 - UPG Santana  
L9 - UPG Apore

## UPGe Parsnā

- II.1 - UPG Correntes
- II.2 - UPG Taquari
- II.3 - UPG Miranda
- II.4 - UPG Negro
- II.5 - UPG Nabileque
- II.6 - UPG Apa

### Convenções

- Sede Municipal
- Rodovias
- Limite de UPG
- Limite Estadual
- Limite Internacional
- Divisor de Região Hidrográfica



O Sistema Aquífero Bauru é denominado por CPRM (2012) como Sistema Aquífero Bauru-Caiuá e é responsável pelo escoamento regional das

águas de rios importantes como o Pardo, Verde e Sucuriú. Adota-se a nomenclatura de SAB nesse trabalho, pelo entendimento que o estado, por meio do Plano Estadual de Recursos Hídricos tem a responsabilidade dessa gestão.

Segundo SEMAC (2010) a disponibilidade hídrica dos três sistemas aquíferos estudados nesse trabalho no estado do Mato Grosso do Sul é distribuída conforme a Tabela 2.

TABELA 2: DISPONIBILIDADE HÍDRICA DOS SISTEMAS AQUÍFEROS BAURU, SERRA GERAL E GUARANI NO MATO GROSSO DO SUL

Sistema Aquífero	Área de recarga	Reserva Renovável	Reserva Explotável
SAB	134.550,1 km <sup>2</sup>	19.597 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup>	3.920 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup>
SASG	50.476,3 km <sup>2</sup>	5.778 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup>	1.156 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup>
SAG	22.207,3 km <sup>2</sup>	2.192 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup>	439 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup>

FONTE: SEMAC 2010

No município de Campo Grande, os domínios hidrogeológicos podem ser observados na Figura 8.

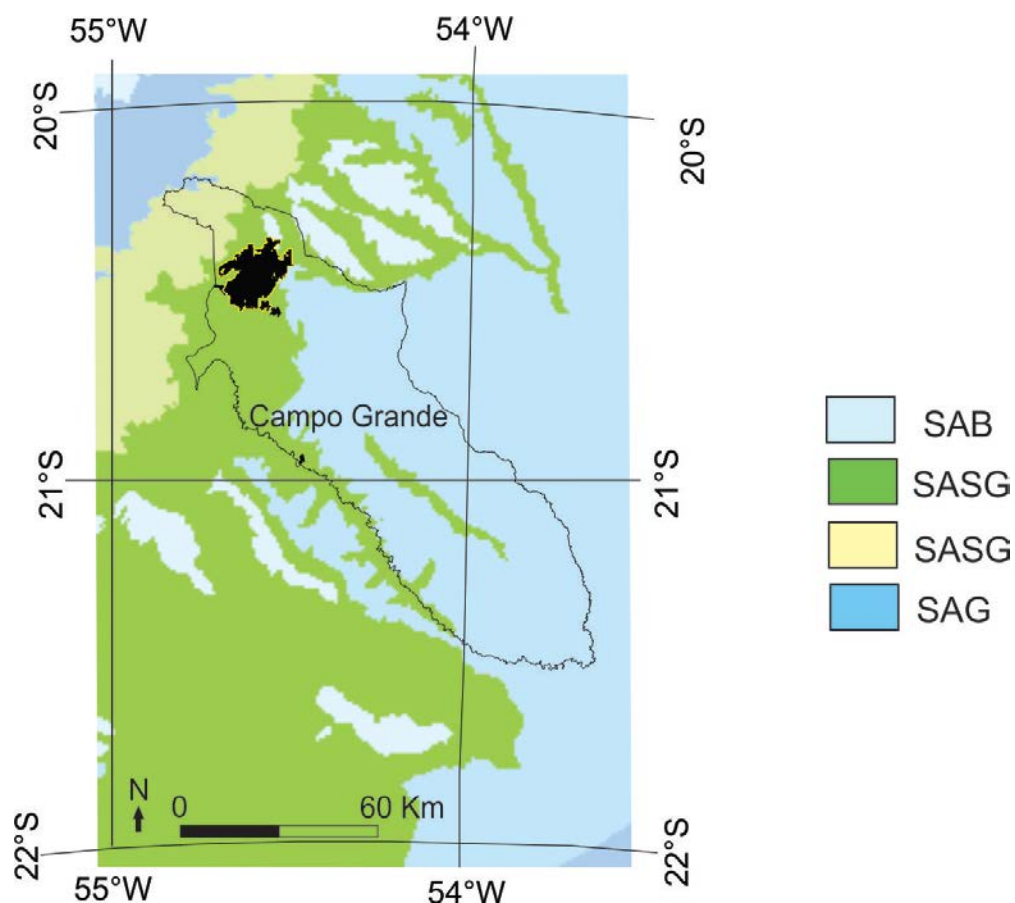


Figura 8: Mapa dos sistemas aquíferos do município de Campo Grande, adaptado do mapa hidrogeológico 1:1000000, da CPRM (SIAGAS-CPRM, 2017).

Nesse mapa é realizada a divisão do SASG em duas unidades aquíferas, com base na sua produtividade, sendo a verde ( $10$  a  $25 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ) mais produtiva que a unidade em amarelo ( $1$  a  $10 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ).

### 3.5.1 Sistema Aquífero Guarani (SAG)

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) é um aquífero transfronteiriço com dimensões continentais que abrangem o território brasileiro, paraguaio, argentino e uruguaio (Figura 9).

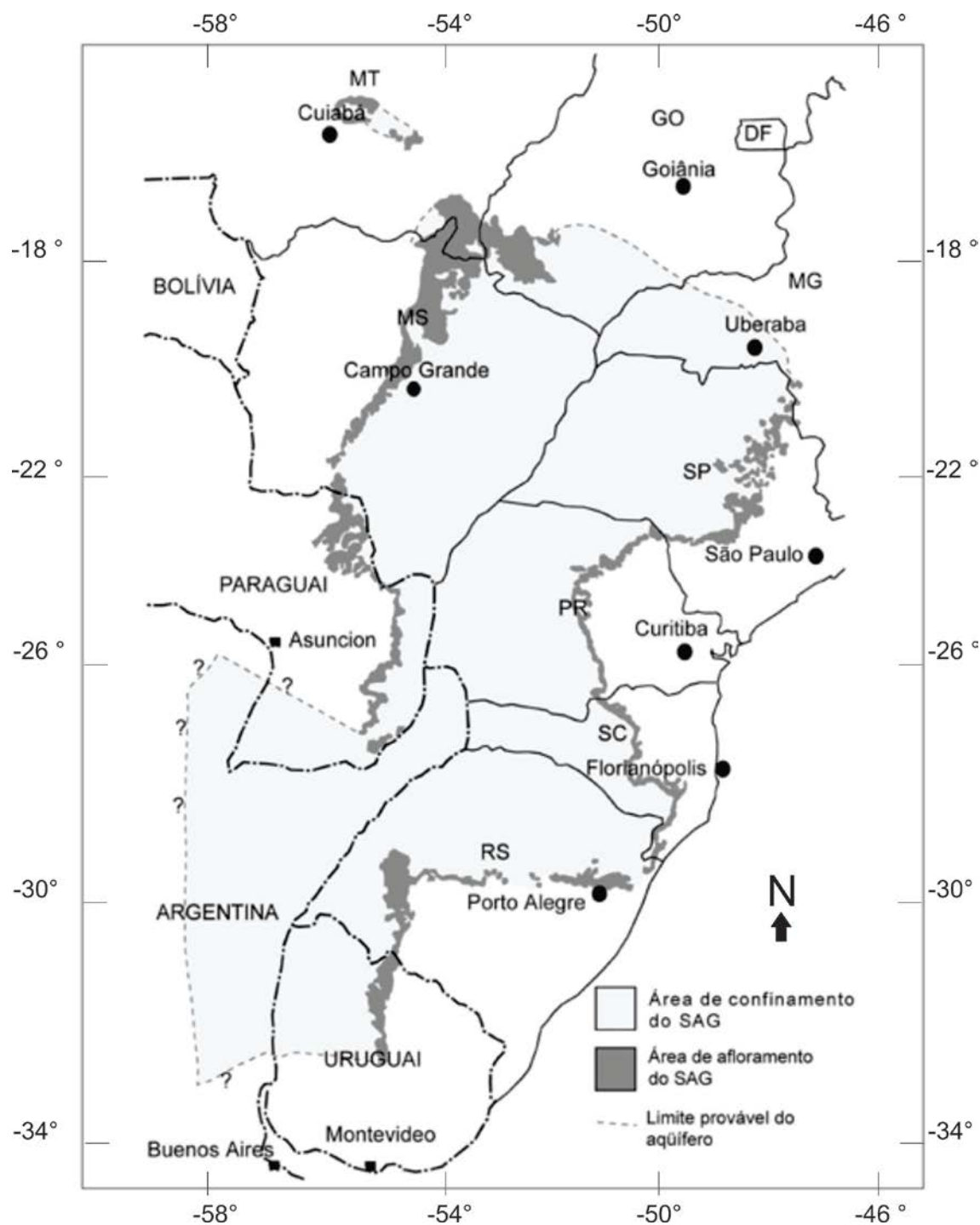


Figura 9: Área de ocorrência do Sistema Aquífero Guarani (Araujo, França e Potter, 1995)

A área total aproximada desse sistema aquífero é de 1.194.000 km<sup>2</sup>, sendo 840.000 km<sup>2</sup> em território brasileiro, 225.500 km<sup>2</sup> na Argentina, 71.700 km<sup>2</sup> no Paraguai e 58.500 km<sup>2</sup> em território uruguaio (Araújo *et al.*, 1995). No Brasil ocorre nos estados do Rio Grande do Sul (157.600 Km<sup>2</sup>), Santa Catarina (49.200 Km<sup>2</sup>), Paraná (131.300 Km<sup>2</sup>), São Paulo (155.800Km<sup>2</sup>), Minas Gerais

(51.300 Km<sup>2</sup>), Goiás (55.000 Km<sup>2</sup>), Mato Grosso (26.400 Km<sup>2</sup>) e Mato Grosso do Sul (213.200 Km<sup>2</sup>) (Gastmans, 2007).

As reservas explotáveis são estimadas em 40.000.000.000 m<sup>3</sup>/ano em função das condições de ocorrências e de recarga (Borghetti, *et al.* 2011).

Segundo estudo da TAHAL/SANESUL (1998) a exploração do SAG, no estado de Mato Grosso do Sul, foi estimada em  $25 \times 10^6$  m<sup>3</sup>. Chang (2001), relata que o volume explotado é de aproximadamente  $48 \times 10^6$  m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>.

A área de recarga do SAG no estado é de 22.207,3 km<sup>2</sup>, sendo a reserva renovável de  $2.192 \times 10^6$  m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup> e reserva explotável de  $439 \times 10^6$  m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup> (SEMAC, 2010).

Gastmans (2007) indica o sentido do fluxo de recarga como sendo radial em direção ao centro da bacia, no qual o aquífero encontra-se em confinamento, e em direção às áreas de afloramento das formações Botucatu e Pirambóia, no estado de Mato Grosso do Sul. Assim, em alguns locais, no estado do Mato Grosso do Sul, as formações Botucatu e Pirambóia funcionam como descarga do SAG.

Ainda segundo Gastmans (2007), há três zonas de recarga na borda ocidental desse sistema aquífero. Uma localiza-se no estado de Goiás, com fluxo radial alimentando os rios Coxim e Taquari, formadores do Pantanal Mato Grossense. A segunda área de recarga localiza-se ao sul do estado, na divisa do Mato Grosso do Sul com o Paraguai. Essa apresenta um sentido de fluxo para leste e nordeste, na direção do estado do Paraná e confluências do rio Paraná e Paranapanema; e uma segunda direção de fluxo para oeste, na área de afloramento das formações Botucatu e Pirambóia, funcionando assim como descarga desse sistema aquífero. A terceira área apontada por Gastmans (2007) é na porção central do estado do Mato Grosso do Sul em São Gabriel do Oeste. Está relacionada com uma área topograficamente mais alta, em um chapadão. Também possui sentidos de fluxos radiais em direção as zonas de afloramento. Com isso a formação do relevo acaba influenciando nas direções de fluxo e representando uma descarga regional do SAG próxima a cidade de Jardim, MS.

A Formação Botucatu é constituída por quartzos arenitos com estratificações cruzadas, granulação fina a média com grãos subarredondados a bem arredondados, com boa esfericidade (Gastmans, 2007).

No município de Campo Grande, TAHAL/SANESUL (1998) relata que o SAG está semi-confinado por basaltos da Formação Serra Geral, que possui localmente, espessuras de até 290 metros. Gastmans *et al.*, (2010) considera que no município de Campo Grande o SAG está confinado.

A classificação das águas é apresentada por Gastmans (2007) como bicarbonatadas cálcicas no município.

Segundo TAHAL/SANESUL (1998), os poços perfurados no SAG apresentam vazões variando de alguns metros cúbicos por hora até  $320 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , com grande número deles apresentando vazões de até  $40 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , além de vazões específicas de 1 até  $7 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$ , e a transmissividade, calculada por meio da interpretação de ensaios de bombeamento, variando de 10 a  $650 \text{ m}^2 \text{ dia}^{-1}$ . Os ensaios de bombeamento com observação da interferência entre poços, executados nos municípios de Campo Grande e Camapuã, apontam valores para o coeficiente de armazenamento da ordem de  $10^{-4}$ , indicando condições de confinamento nas duas localidades (TAHAL/SANESUL, 1998).

As temperaturas das águas subterrâneas do SAG são diretamente associadas a profundidade do topo do sistema aquífero. Quanto mais profundo o topo do SAG maior a tendência de se obter uma temperatura mais elevada, explicado pelo gradiente geotérmico (Hindi, 2007). Nesse mesmo trabalho, temperaturas do SAG acima de  $30^\circ$  apresentam topo do sistema aquífero acima de 300 m de profundidade e temperaturas de  $25^\circ$  apresentam profundidades de topo do SAG por volta de 200 metros.

Os poços que exploram o SAG podem ter vazões aproximadas de até  $320 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  TAHAL/SANESUL (1998). No município de Campo Grande, atualmente, há produção de poços tubulares de até  $300 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  nesse sistema aquífero. As temperaturas médias desses poços em Campo Grande são de  $32^\circ\text{C}$ .

### 3.5.2 Sistema Aquífero Serra Geral (SASG)

O Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), sobreposto ao SAG, apresenta uma área de aproximadamente  $1.000.000 \text{ km}^2$ . Ele é aflorante no Mato Grosso, Goiás, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Minas Gerais, Paraná,

Santa Catarina e Rio Grande do Sul e estende-se ao longo das fronteiras do Paraguai, Argentina e Uruguai.

O SASG, segundo Lastoria (2002) é um aquífero regional livre, de meio fissurado, anisotrópico, que apresenta um controle estrutural bem marcante. A recarga ocorre em toda a área de afloramento dos derrames basálticos, sendo a região de Campo Grande uma contribuição hídrica importante na recarga desse aquífero (Lastoria, 2006).

A disponibilidade hídrica desse sistema aquífero é de uma área de recarga de 50.476,3 km<sup>2</sup>, com reserva renovável de 5.778 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup> e reserva explotável de 1.156 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup> (SEMAC, 2010).

Lastoria (2002) classifica a porosidade desse sistema aquífero como fissural e relaciona a dinâmica da circulação da água do basalto com as descontinuidade dos seus derrames, com permeabilidade mais elevada nas estruturas horizontais de grande extensão. As estruturas verticais de pequena extensão apresentam permeabilidades menores em relação às horizontais.

TAHAL/SANESUL (1998) apresentam dados da ordem de 25 a 50 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup> de fluxo mínimo de água subterrânea, na região leste do estado de Mato Grosso do Sul, nos quais os basaltos estão sobrepostos com sedimentos da Bacia Bauru. Já nas áreas aflorantes, o fluxo mínimo básico pode alcançar 350 a 380 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>. O comportamento desse aquífero como livre indica, segundo Lastoria (2002), a responsabilidade do mesmo pela manutenção das águas fluviais nas estações secas, sendo assim o sistema aquífero subterrâneo alimentador do sistema hídrico superficial.

No município de Campo Grande as vazões médias explotadas desse sistema aquífero são da ordem de 27 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, com base na vazão de poços explotados desse sistema aquífero para o ano de 2016. As temperaturas médias são de 26°C.

As profundidades de entrada de água desse sistema aquífero são predominantemente de até 100 metros de profundidade.

### 3.5.3 Sistema Aquífero Bauru (SAB)

A Bacia Bauru recobre uma área de aproximadamente 379.362 km<sup>2</sup> exclusivamente em território brasileiro (Menegazzo, Catuneanu e Chang,



2016). Abrange os estados de Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul (Figura 10).

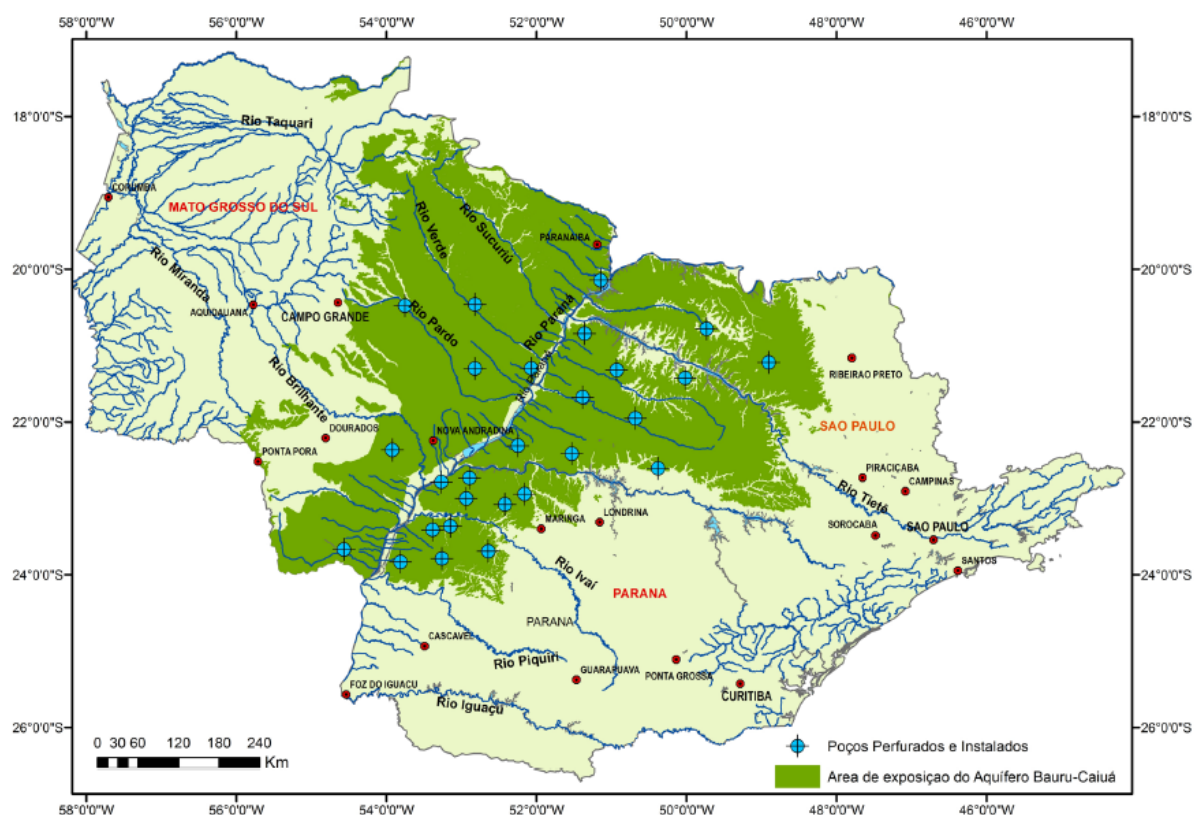


Figura 10: Área de exposição do Sistema Aquífero Bauru nos estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul, com poços de monitoramento instalados da rede integrada de monitoramento de água subterrânea (RIMAS) (CPRM, 2012)

O Sistema Aquífero Bauru (SAB) é a maior unidade aquífera do estado do Mato Grosso do Sul, referente à área, totalizando, uma área de recarga de  $134.550,1 \text{ km}^2$ , com uma reserva renovável de  $19.597 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$  e reserva explotável de  $3.920 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$  (SEMAC, 2010).

O SAB é uma unidade hidrogeológica sedimentar porosa composta por arenitos finos e, localmente, com intercalações de finas camadas de silte (CPRM, 2006). Por essas características, Uechi, Gabas e Lastoria (2016), propõem esse sistema aquífero como uma unidade geológica propensa à contaminações influenciadas por atividades antrópicas.

Rosa Filho (1982) após realização de testes de aquíferos na região noroeste do estado do Paraná e por meio de cálculos do coeficiente de armazenamento, definiu o aquífero Caiuá pontualmente como um aquífero semi-confinado. Segundo Celligoi (2000), a unidade é definida como um aquífero livre.



TAHAL/SANESUL (1998) estabelece um modelo conceitual desse sistema aquífero com sentido de fluxo do aquífero de oeste para leste, tendo suas cotas mais elevadas no município de Campo Grande (700 a 600 metros) e as menores cotas próximas a calha do rio Paraná (250 m).

Campos (2004) caracteriza a predominância de águas bicarbonatadas predominantemente cálcicas, devido a composição mineralógica da formação geológica.

No município de Campo Grande, o SAB possui características de um sistema aquífero livre, possuindo médias de vazões de exploração de  $20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . As temperaturas médias são de  $25^\circ\text{C}$ .

### 3.6 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS POÇOS TUBULARES PROFUNDOS

#### 3.6.1 O histórico do abastecimento de água por poços tubulares profundos no município de Campo Grande.

O início da perfuração de poços tubulares profundos no município de Campo Grande data-se de meados de 1970 e visou a complementação do abastecimento de mananciais superficiais. Nesse momento, a administradora do setor de saneamento no estado de Mato Grosso era a Companhia de Saneamento do Estado de Mato Grosso – SANEMAT.

Em 1979, com a divisão do estado de Mato Grosso em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, a concessão dos serviços públicos de água e esgoto foi transferida para a recém criada Empresa de Saneamento do Estado de Mato Grosso do Sul – SANESUL.

A partir do ano 2000, cria-se a concessão privada Águas Guariroba S.A., concessionária responsável pelos serviços de saneamento e abastecimento público de água do município de Campo Grande. Essa empresa é responsável pela gestão dos serviços de captação, adução, produção, tratamento e distribuição de água potável no município. O restante do estado ainda é administrado pela SANESUL (Tcacenco-Manzano *et al.* 2016).

### 3.6.2 Nomenclatura interna de poços tubulares profundos no município de Campo Grande.

Os poços tubulares profundos (Figura 11) utilizados no abastecimento público no município de Campo Grande são nomeados por uma nomenclatura interna da empresa da seguinte forma:

- Pocinhos: poços perfurados com objetivo de captação de água do SAB, com até 80 metros de profundidade, perfuração em 12 ¼" e revestimento em 8" (oito polegadas).
- Poços: poços perfurados com objetivo de captação de água do sistema SASG, com até 150 metros de profundidade, com perfuração de 8" (oito polegadas) e sem revestimento.
- Poços de alto rendimento (PAR): poços perfurados visando a captação de água do SAG, com até 250 metros, revestimento em 10" (dez polegadas).
- Poções: poços perfurados visando a captação de água do SAG, com profundidades de perfurações acima de 250 metros (podendo chegar a 600 metros) e com revestimento de 12" (doze polegadas).

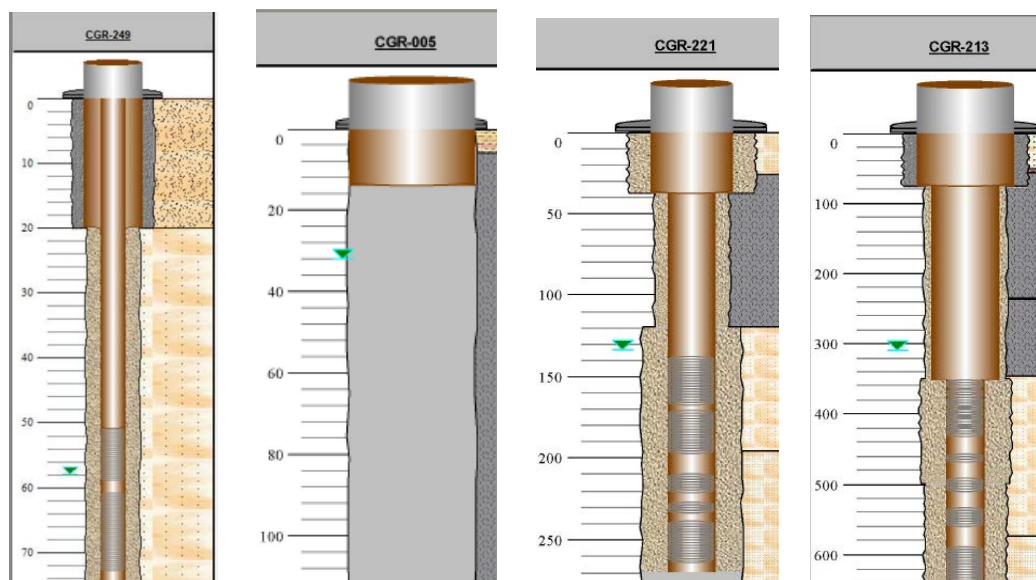


Figura 11: Pocinho (75 metros de profundidade), poço (118 metros de profundidade), PAR (270 metros de profundidade) e poção (650 metros de profundidade), perfurados para captação de água no SAB, SASG, SAG e SAG, respectivamente.

Os perfis foram construídos por meio do *Software Visual Poços Pro*, da empresa Schlumberger e cedidos pela empresa Águas Guariroba. As setas azuis nos poços indicam o nível dinâmico dos poços.

### 3.6.3 Localização dos poços tubulares profundos em Campo Grande

Os poços tubulares profundos dos três sistemas aquíferos estão distribuídos por toda a área urbana do município de Campo Grande (Figura 12). Somente os poços tubulares profundos do SAB apresentam uma concentração a leste-nordeste do município. Os SAG e SASG apresentam-se distribuídos por todo município. O mapa de detalhe da nomenclatura e da localização dos poços tubulares profundos encontra-se no Apêndice I a essa dissertação.

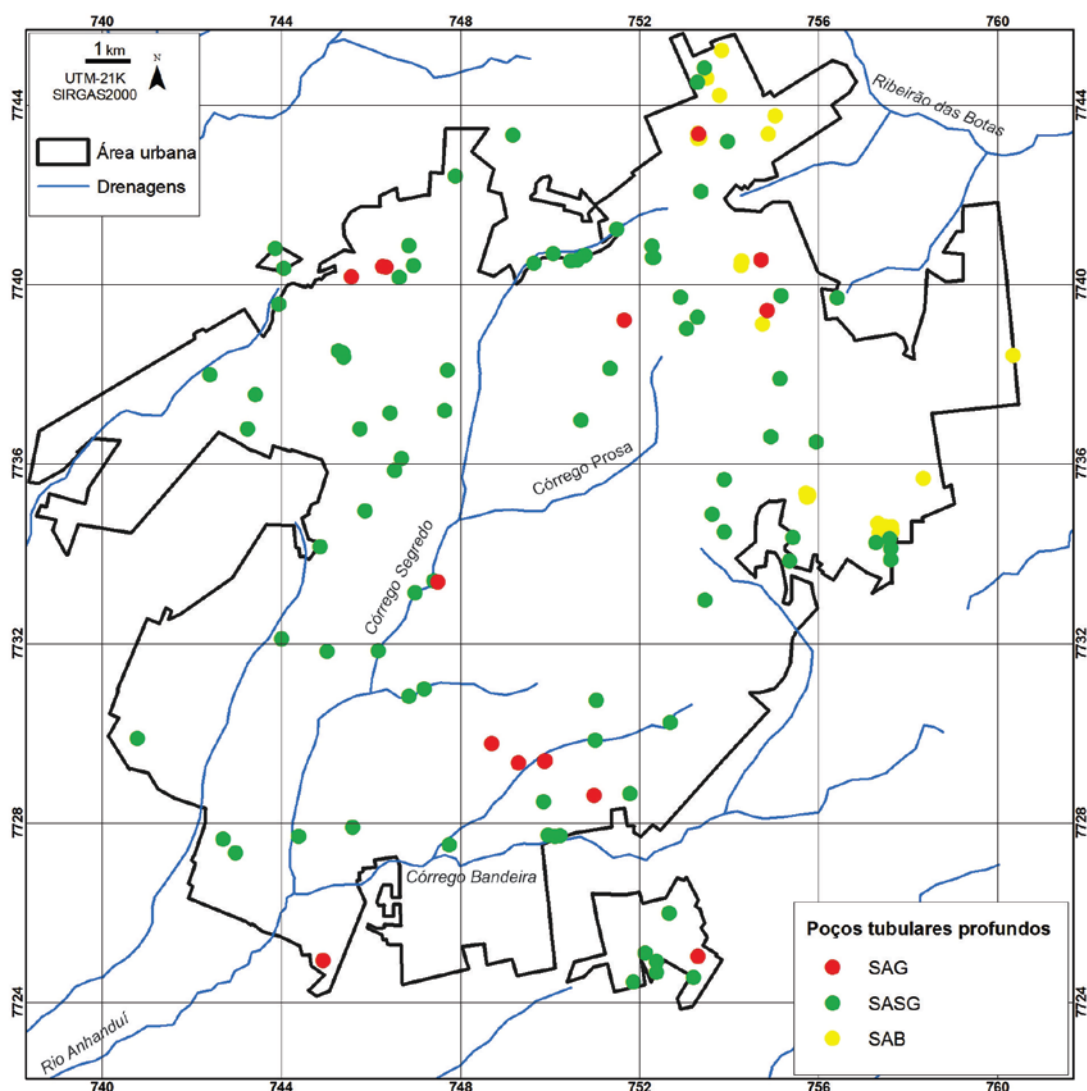


Figura 12: Mapa de localização dos poços na área urbana do município de Campo Grande, com base de dados de drenagem IBGE em escala 1:250.000

## 4. MÉTODOS E MATERIAIS EMPREGADOS

### 4.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Os estudos bibliográficos que envolvem a área de estudo foram realizados durante toda a pesquisa para a confecção dessa dissertação. Por meio dessa pesquisa, buscou-se a atualização constante da bibliografia recente da região.

### 4.2 CARTOGRAFIA, PERFIS DE POÇOS E AMBIENTE GIS

Os dados cartografados e utilizados nesse trabalho estão projetados em UTM 21 K, Sirgas 2.000.

Para a criação dos mapas apresentados nesse trabalho foi utilizado o *software Arc Map*, versão 10.3.

Foi utilizado como base geológica o mapa geológico do Mato Grosso do Sul, de autoria do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2006) com escala 1:1.000.000.

A base de dados para a confecção do mapa hidrogeológico do município de Campo Grande foi o mapa hidrogeológico 1:1.000.000 da CPRM, com acesso ao Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS).

O mapa para classificação da produtividade de aquíferos utilizado foi o Mapa Hidrogeológico do Brasil 1:5.000.000 (CPRM, 2014).

A base de dados para o traçados das drenagens é a base de dados de drenagem do IBGE, em escala 1:100.000.

Os perfis de poços tubulares profundos foram obtidos através do cadastro de poços no *software Visual Poços Pro*, da empresa Schlumberger. Esses poços foram cadastrados em 2009-2010 pela autora da dissertação na empresa Águas Guariroba e a empresa tornou possível o acesso ao acervo de dados do município.

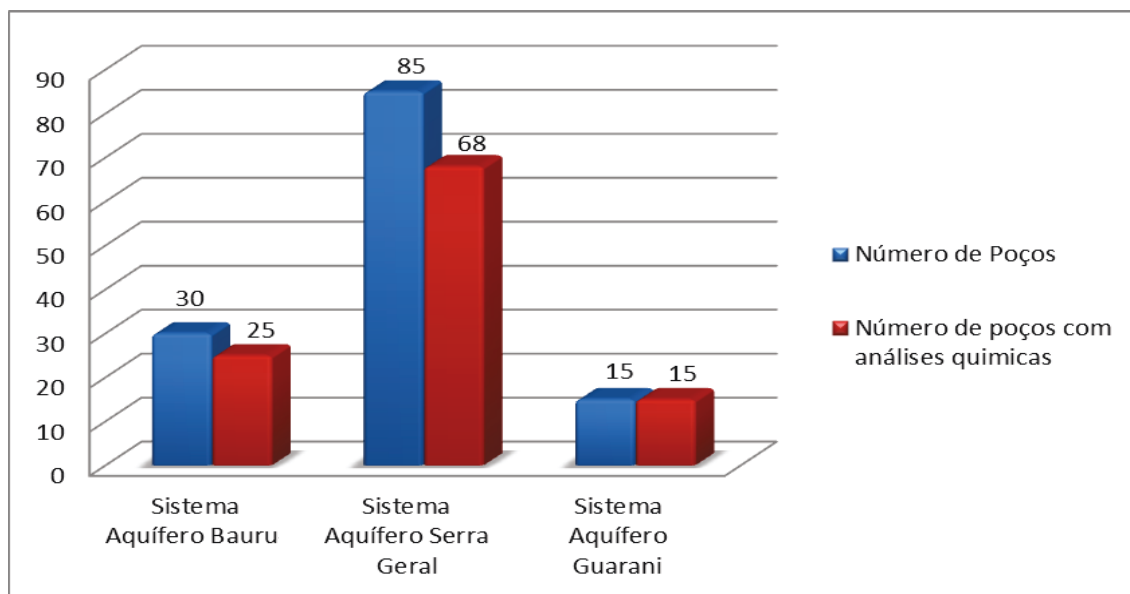
### 4.3 POÇOS TUBULARES PROFUNDOS

O que possibilitou a realização dessa pesquisa foi o acesso ao acervo de dados da Empresa Águas Guariroba S.A, responsável pelo serviço de saneamento e abastecimento público no município de Campo Grande.

Foi realizada uma compilação de dados no setor de eletromecânica, no qual ficam armazenados os dados físicos dos poços tubulares profundos. Foram realizadas cópias das fichas de manutenção dos poços e dos relatórios de perfuração, possibilitando o levantamento e análise dos dados pré-existentes de aproximadamente 150 poços tubulares profundos em operação e 120 desativados, totalizando 270 poços no município de Campo Grande.

Com dados de todos os 270 poços tubulares profundos foi possível detectar que vários poços não possuíam informações completas (ausência de coordenadas, profundidades de níveis e descrições geológicas; alguns poços foram considerados insuficientes para a produção e tamponados; outros poços foram soterrados por passagens de vias públicas). Assim, após a análise e triagem desses dados, foram separados para o estudo desse trabalho 130 poços com dados hidrodinâmicos completos e 108 poços com análises químicas, podendo ser observados no Gráfico 2. A diferença entre o número de poços com dados hidrodinâmicos e de boletim de análises de água é pela ausência de análises no ano de análise. Porém, mesmo assim optou-se por manter esses poços para esse trabalho.

GRÁFICO 2: NÚMERO DE POÇOS POR SISTEMA AQUÍFERO ANALISADOS NESSE TRABALHO



A primeira etapa na organização de dados foi a triagem e separação dos poços pela captação por sistema aquífero. Os sistemas aquíferos foram separados em :

- Sistema Aquífero Bauru (SAB)
- Sistema Aquífero Serra Geral (SASG)
- Sistema Aquífero Guarani (SAG)

Aproximadamente vinte poços que captam água de dois sistemas aquíferos simultaneamente foram desconsiderados, evitando a interpretação e caracterização errônea dos sistemas aquíferos.

Foram analisados todos os perfis litológicos e construtivos dos poços para a separação de cada poço por sistema aquífero. Posteriormente foi realizada o levantamento da localização geográfica de cada poço. A maioria dos poços que foram descartados motivou-se pelo fato de não possuírem coordenadas ou perfis litológicos e construtivos.

Após essa etapa, foi realizada a análise dos níveis estáticos dos poços. O nível estático da perfuração foi retirado do perfil litológico e construtivo, que consta no relatório de perfuração do poço. O nível estático da perfuração para o SAB e o SASG foi comparado com os níveis estáticos do ano de 2016 e um monitoramento dos níveis no seguinte período foi realizado: 2011, 2012, 2013, 2014 e 2015. Juntamente ao nível estático, foram analisadas a concentração

do parâmetro nitrato, valores de pH, dureza, temperatura, sólidos totais dissolvidos, e condutividade elétrica.

A sigla que é adotada para a nomenclatura dos poços é CGR (Campo Grande e uma sequência numérica de três dígitos em ordem crescente da perfuração dos poços. Assim, o CGR-003 foi perfurado em 1975 e CGR-277 em 2015. Isso é uma nomenclatura interna da empresa Águas Guariroba.

Os dados de poços utilizados para a realização desse trabalho são descritos nos itens seguintes.

#### 4.3.1 Coordenadas e localização de poço tubulares profundos

Refere-se a localização espacial de cada poço, no município de Campo Grande, de forma a dar suporte a toda a pesquisa. Foi conferida cada localização do poço no Google Earth e a mestrandia realizou visitas *in loco* enquanto trabalhava na empresa.

#### 4.3.2 Cota do terreno na boca do poço

A cota do terreno na boca do poço foi essencial para a confecção de todos os mapas resultantes desse trabalho. Essas foram retiradas dos relatórios e fichas construtivas dos poços.

#### 4.3.3 Perfis litológicos e construtivos dos poços tubulares profundos

Os perfis litológicos e construtivos dos poços tubulares foram utilizados na separação de cada unidade do sistema aquífero, e na validação de mudanças ou manutenção nos padrões hidrodinâmicos de cada poço.

#### 4.3.4 Profundidade de níveis estáticos na perfuração e atual

A profundidade do nível estático do poço na perfuração foi retirada pelas fichas de sondagem e relatórios finais de perfuração do poço. Utilizou-se esses dados para a confecção de mapa potenciométricos na perfuração e com

base no ano de 2016. Com as medições atuais de níveis estáticos pode-se fazer um comparativo da diferença da perfuração com a atual.

A medição da profundidade do nível estático atual é realizada uma vez por semestre, na rotina normal de trabalho da empresa Águas Guariroba. As medições de níveis são realizadas por medidor elétrico de nível de água, colocado no tubo guia de pvc de ½", enquanto o poço está parado. Com isso é possível a aferição do nível estático, em repouso. Essa medição é feita após um intervalo de 4 a 6 horas do poço estar sem bombeamento e foram realizadas entre os meses de abril e maio do ano de 2016.

As medições dos níveis estático do SAG, SAB e SASG, na perfuração e no ano de 2016 estão inseridas nos apêndices 2, 3 e 4, respectivamente.

#### 4.3.5 Profundidade do nível dinâmico e medição de vazão

A profundidade do nível dinâmico é realizada após o poço ter sido colocado em bombeamento. As medições dos níveis dinâmicos são realizados por meio de medidores elétricos de nível de água que são colocado no tubo guia de pvc, de ½". As medições de vazões são realizadas por meio de visualização de hidrômetros instalados no cavalete do poço.

As medições de nível dinâmico e vazão são realizadas simultaneamente, a partir do momento que o nível dinâmico apresenta-se estabilizado.

##### 4.3.5.1 Vazões do SAB, SAG E SASG.

As vazões do sistema Aquífero Bauru com base na medição de perfuração e atual estão no apêndice 5. Em geral, nota-se uma diminuição da vazão de teste para a vazão que se é explotada atualmente.

As vazões do teste de bombeamento da perfuração do poço e as que estão sendo explotadas atualmente do SAG são apresentadas no apêndice 6.

Para os SASG, além das vazões da perfuração e atuais explotadas, é importante que exista a informação das profundidades de entrada de água no sistema aquífero (Apêndice 7).



Por meio desses dados percebe-se que as entradas de água são preferencialmente com profundidades inferiores a 100 m.

#### 4.3.6 Rebaixamentos, capacidades específicas e testes de bombeamentos

Por meio de relatórios e fichas de sondagem na perfuração dos poços, foram obtidos os dados dos testes de bombeamentos realizados na perfuração dos poços. Raros poços possuem testes de bombeamento que não seja o que é realizado após a perfuração do poço, para estimativa de vazão. Os dados desses relatórios são importantes para o cálculo de padrões hidrodinâmicos dos poços como transmissividade, condutividade hidráulica, rebaixamento e capacidades específicas sendo os dois últimos parâmetros importantes para a obtenção da potencialidade hídrica dos sistemas aquíferos.

#### 4.3.7 Boletim de análises de águas

Foram utilizados nesse trabalho os dados de alguns parâmetros dos boletins de análises de água dos poços tubulares profundos. Isso foi realizado para determinar qual o comportamento dos parâmetros em cada tipo de sistema aquífero.

As amostras de água são coletadas e analisadas cotidianamente uma vez por semestre pelo Laboratório de Monitoramento de Qualidade de Água, da empresa Águas Guariroba S.A. Além disso, cabe ressaltar que essas análises são enviadas semestralmente para Agência de regulação de serviços públicos do município de Campo Grande, para verificação da potabilidade da distribuição de água no município.

As amostras de água são coletadas por técnicos do laboratório e enviadas para ensaios de parâmetros físicos, inorgânicos, padrões de aceitação para consumo humano e exames bacteriológicos. Os parâmetros analisados pela empresa e que foram utilizados nessa pesquisa estão identificados na tabela 9 por meio do parâmetro/ensaio, método, volume e recipiente armazenado. Esses métodos de análises são baseados no *Standart Methods for Examination of water and wasterwater*, 22<sup>a</sup> edição, denominada na tabela 3 descritas como SMWW (Baird e Clesceri, 2012).

TABELA 3: PARÂMETROS, MÉTODOS E PRESERVAÇÃO POR AMOSTRA UTILIZADOS NA AMOSTRAGEM DE ÁGUA, ADOTADOS PELO LABORATÓRIO DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DE ÁGUA, DA EMPRESA ÁGUAS GUARIROBA S.A

Ensaio	Método	Volume	Recipiente
Temperatura	SMWW, 22ª Edição, Método 2550 B	100 ml	Frasco de plástico ou vidro
pH	SMWW, 22ª Edição, Método 4550 H B	100 ml	Frasco de plástico ou vidro
Condutividade	SMWW, 22ª Edição, Método 2510 B	1000 ml	Frasco de plástico ou vidro
Nitrato (como N)	Método Spectroquant 1.14773.0001 Nitrate - Merck Test	1000 ml	Frasco de plástico ou vidro
Dureza	SMWW, 22ª Edição, Método 2340 C	250 ml	Frasco de plástico ou vidro
STD	SMWW, 22ª Edição, Método 2540 B	300 ml	Frasco de plástico ou vidro

Todos os boletins de análises de água são analisados conforme a Portaria do Ministério da Saúde, de nº 2914, de 12/12/2011. Cabe ressaltar ainda que nesse projeto foram analisados somente os boletins de água que compõem a rotina da empresa, aproveitando os parâmetros avaliados nesses boletins.

#### 4.3.7.1 Dados dos boletins de análises de água do SAG

Foram analisados os dados de temperatura, pH, condutividade elétrica, dureza, sólidos totais dissolvidos e nitrato de quinze poços tubulares profundos que captam água do SAG (Tabela 4).

TABELA 4: PARÂMETROS ANALISADOS PARA O SAG NO ANO DE 2016

Poço	Temperatura (° C)	pH	Condutividade elétrica (µS/cm)	Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)
CGR-152	31,6	7,44	95,6	41	67
CGR-160	28,4	7,52	105,9	49	96
CGR-163	38,3	7,96	143,2	56	126
CGR-168	31,2	6,96	72,8	39	65
CGR-170	33,7	8,04	220,0	58	111
CGR-171	32,3	7,85	186,0	48	105
CGR-172	36,0	7,91	190,5	59	186
CGR-173	30,7	7,85	114,8	58	93
CGR-176	31,3	7,02	246,0	96	98
CGR-186	38,0	8,05	127,9	49	71
CGR-213	36,8	7,78	259,1	50	151
CGR-219	27,3	7,46	222,0	70	192
CGR-220	30,4	7,91	175,6	63	127
CGR-221	30,2	7,86	178,8	63	130
CGR-278	27,3	7,35	103,0	46	101

Os poços CGR-152, CGR-219 estavam desativados por muito tempo assim não utilizou-se eles para o cálculo da potenciometria e o CGR-278 foi perfurado recentemente, não sendo possível uma análise temporal desse poço.

Os valores de nitrato não foram inseridos no corpo da tabela pois todos apresentaram valores inferiores a 1 mg/L.

#### 4.3.7.2 Dados dos boletins de análises de água do SAB

Das análises físico químicas e bacteriológicas dos poços foram verificados os parâmetros temperatura, pH, condutividade elétrica, dureza, sólidos totais dissolvidos e nitrato (Tabela 5) para vinte e cinco poços do SAB.

TABELA 5: PARÂMETROS ANALISADOS PARA 25 POÇOS TUBULARES PROFUNDOS DO SAB NO ANO DE 2016

Poço	Temperatura (°C)	pH	Condutividade elétrica(μS/cm)	Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	Nitrato (N-NO <sub>3</sub> ) (mg/L)
CGR-119	25,9	4,73	-	-	-	-
CGR-178	25,3	4,44	-	<1	77	9
CGR-179	25,3	4,71	50,8	<1	28	<1
CGR-181	25,2	4,18	-	5	-	-
CGR-182	25,1	4,91	158,6	<1	125	12,4
CGR-183	26,2	4,94	66,2	<1	57	7,9
CGR-193	24,2	4,87	16,9	<1	51	1,84
CGR-197	26,3	4,65	82,9	<1	59	5,9
CGR-224	26,2	4,02	88,0	<1	122	1,4
CGR-225	26,1	4,85	19,7	<1	25	<1
CGR-226	27,0	4,74	95,7	<1	103	6,1
CGR-227	26,0	4,91	97,6	<1	113	6,6
CGR-228	26,3	4,59	138,9	<1	120	6,7
CGR-231	25,6	4,78	25,3	<1	<10	2,5
CGR-241	26,2	5,11	12,1	<1	<10	1,6
CGR-248	27,0	4,45	100,7	<1	75	6,7
CGR-249	26,8	4,30	147,9	<1	123	10,4
CGR-250	25,6	4,96	9,2	<1	16	<1
CGR-252	24,9	5,38	9,6	8	26	<1
CGR-253	25,7	4,77	6,1	<1	14	<1
CGR-254	25,8	4,80	4,5	<1	12	<1
CGR-255	26,0	4,96	5,1	<1	10	<1
CGR-257	25,6	4,93	-	-	-	<1
CGR-258	25,9	-	14,6	<1	16	<1
CGR-265	25,6	5,06	15,1	<1	<10	1,4

#### 4.3.7.3 Dados dos boletins de análises de água do SASG

Para esse sistema, foram separados para a análise os mesmos parâmetros dos sistema anteriores (Tabela 6).

TABELA 6: PARÂMETROS ANALISADOS PARA 68 POÇOS DO SASG, NO ANO DE 2016

Poços	Temperatura (° C)	pH	Condutividade (µS/cm)	Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Sólido Total Dissolvido (mg/L)	Nitrato (N-NO <sub>3</sub> ) (mg/L)	Ne atual (m)
CGR-003	26,0	6,13	157,2	1	138	9,50	12
CGR-005	27,3	6,37	164,8	67	142	5,40	24
CGR-006	27,0	6,41	186,9	78	158	6,90	13
CGR-007	24,7	6,64	246,0	96	224	14,20	41
CGR-008	24,0	6,44	260,0	81	190	7,70	20
CGR-013	26,6	6,70	152,4	65	130	8,10	14
CGR-015	28,5	6,73	110,3	37	113	5,41	10
CGR-016	27,3	6,76	149,9	46	141	5,45	6
CGR-017	27,9	6,14	150,5	52	137	s/m	10
CGR-018	27,5	7,35	140,7	68	137	6,54	21
CGR-019	25,7	7,02	178,8	63	164	6,30	12
CGR-024	31,2	6,98	175,8	66	216	3,12	76
CGR-025	27,5	6,89	268,0	107	213	s/m	14
CGR-028	27,1	7,5	96,7	31	98	1,00	11
CGR-032	26,5	7,19	208,0	90	179	6,50	23
CGR-033	26,1	6,67	169,2	62	166	1,27	19
CGR-034	26,2	7,3	181,6	63	159	1,25	21
CGR-036	27,0	6,26	284,0	128	227	21,60	s/m
CGR-038	26,6	6,26	285,0	128	249	20,60	28
CGR-041	26,7	6,13	312,0	84	255	21,10	10
CGR-042	27,6	5,93	330,0	86	213	26,20	25
CGR-043	26,7	6,64	256,0	64	178	11,60	14
CGR-044	23,1	6,32	156,1	58	114	7,80	13
CGR-046	18,5	6,18	164,1	38	116	4,00	21
CGR-047	27,7	6,89	158,7	31	155	1,00	20
CGR-048	27,5	6,85	153,2	37	158	1,00	28
CGR-051	26,9	7,33	125,5	36	123	1,10	18
CGR-061	26,4	6,65	158,9	53	173	3,50	10
CGR-062	25,9	6,9	146,6	70	151	4,10	6
CGR-063	27,4	7,7	95,9	37	102	1,00	80
CGR-066	26,5	6,4	112,6	40	92	1,30	15
CGR-070	27,2	7,77	140,5	53	106	1,47	21
CGR-072	26,8	6,5	158,9	57	135	6,34	5
CGR-074	28,1	6,55	159,1	66	148	5,50	8
CGR-075	28,0	6,25	201,0	52	149	8,70	6
CGR-077	26,8	6,87	143,2	61	138	1,00	12
CGR-078	27,8	7,12	171,4	80	173	3,00	7
CGR-083	25,3	6,92	66,4	16	83	1,14	5
CGR-089	26,2	7,68	s/m	s/m	s/m	s/m	23
CGR-090	25,1	4,46	114,3	s/m	91	7,10	39
CGR-091	27,9	4,66	141,2	s/m	s/m	11,60	20
CGR-092	23,6	6,39	130,6	48	130	6,60	4
CGR-093	25,1	4,19	154,7	43	186	1,00	9
CGR-094	24,9	6,83	108,2	20	123	1,00	25
CGR-100	27,0	8,4	136,2	29	125	3,30	42

continua

Poços	Temperatura ( ° C)	pH	Condutividade ( $\mu$ S/cm)	Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Sólido Total Dissolvido (mg/L)	Nitrato (N-NO <sub>3</sub> ) (mg/L)	Ne atual (m)
CGR-103	25,8	6,58	190,9	74	187	6,60	5
CGR-108	23,7	6,65	281,0	91	213	8,60	11
CGR-109	26,6	6,46	170,4	52	140	1,40	14
CGR-117	26,3	7,43	295,0	140	250	8,90	8
CGR-121	26,2	6,8	146,1	50	155	1,70	5
CGR-135	28,2	8,35	94,9	26	91	1,00	60
CGR-151	26,0	7,9	195,0	77	169	6,10	18
CGR-157	25,9	6,89	169,9	60	161	5,30	9
CGR-192	25,7	7,68	57,4	22	60	1,00	16
CGR-199	25,6	5,31	-	-	94	-	18
CGR-207	26,4	6,62	159,2	46	143	1,00	-
CGR-208	25,7	6,67	135,2	47	114	1,00	10
CGR-209	23,5	6,87	136,4	5,1	128	2,80	15
CGR-210	26,0	6,75	124,5	61	116	2,70	2
CGR-214	26,3	6,99	125,6	37	120	1,00	30
CGR-215	25,0	5,13	38,9	1	52	1,00	23
CGR-229	25,9	6,57	163,9	39	102	1,22	9
CGR-246	24,4	5,92	311,0	101	196	20,20	8
CGR-256	22,7	7,32	101,8	42	77	1,00	4
CGR-274	24,1	4,84	7,0	n/perf	10	1,10	42
CGR-275	24,0	5,25	10,7	n/perf	13	1,00	40
CGR-276	24,2	4,92	7,8	n/perf	10	1,00	42
CGR-277	24,4	4,85	7,9	n/perf	10	1,00	54

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados serão apresentados na forma de um artigo a ser submetido para a revista Águas Subterrâneas e na forma de outros resultados: análises estatísticas dos boletins de água e a avaliação temporal do parâmetro nitrato no município de Campo Grande

### 5.1 ARTIGO 1

Exploração dos sistemas aquíferos Bauru, Guarani e Serra Geral no abastecimento público no município de Campo Grande

Resumo: A utilização da água subterrânea no abastecimento público de grandes cidades é uma demanda cada vez maior. O município de Campo Grande (MS) gera 46 % da demanda do seu abastecimento público por meio de poços tubulares profundos dos sistemas aquíferos Bauru, Guarani e Serra Geral. Por meio da análise temporal de dados dos poços tubulares profundos foi possível confeccionar gráficos de profundidades de níveis estáticos e mapas potenciométricos na perfuração e com base no ano de 2016. O Sistema Aquífero Bauru apresenta um rebaixamento no nível estático no município de 2,4 m em 5 anos de operação. Entretanto, o monitoramento regional dos níveis estáticos também mostra uma variação em média de 2 metros. O Sistema Aquífero Guarani apresenta 34 metros de rebaixamento em 22 anos de operação de poços, sendo um indicativo de aprofundamento regional desses níveis. O Sistema Aquífero Serra Geral apresenta apenas variações pontuais, não apresentando um aprofundamento de níveis significativo. A capacidade específica dos sistemas aquíferos, conforme a classificação CPRM 2014 enquadra o SAB como um sistema aquífero de produtividade alta (média de capacidade específica  $3,7 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ); o SAG como um sistema aquífero de produtividade muito alta (média de capacidades específicas  $5,8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) e o SASG como um sistema aquífero de produtividade moderada (média de vazão de  $27,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ). Assim, é importante o monitoramento periódico dos sistemas aquífero, visando tanto o abastecimento contínuo de grande cidades quanto o entendimento dos sistemas aquíferos ao longo dos anos.

Palavras-chave: produtividade, captação subterrânea, rebaixamento de níveis.

Abstract: The use of groundwater in the public supply of large cities is a growing demand. The municipality of Campo Grande (MS) has 46% of the demand for its public supply through deep tubular wells in the Bauru, Guarani and Serra Geral aquifer systems. By means of the temporal analysis of data from the deep tubular wells it was possible to make graphs of depths of static levels and potentiometric maps in the drilling and based on the year 2016. The Bauru Aquifer System presents a lowering in the static level in the municipality of 2,4 m in 5 years of operation. However, regional monitoring of static levels also shows an average variation of 2 meters. The Guarani Aquifer System presents

34 meters of relegation in 22 years of operation of wells, being an indicative of regional deepening of these levels. The Serra Geral aquifer system presents only occasional variations, not presenting a significant level deepening. The specific capacity of the aquifer systems, according to the CPRM 2014 classification, classifies SAB as a high productivity aquifer system (average of specific capacity  $3.7 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ); the SAG as an aquifer system of very high productivity (average of specific capacities  $5.8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) and SASG as an aquifer system of moderate productivity (mean flow  $27.5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ), it is important the periodic monitoring of the aquifer systems, aiming at both the continuous supply of large cities and the understanding of aquifer systems over the years.

Key Words: productivity, underground capture, downsizing.

## 1. INTRODUÇÃO

A demanda de água nos grandes centros urbanos em complemento ao abastecimento superficial é uma realidade cada vez mais crescente. Isso se deve em geral ao fato da boa qualidade da água subterrânea associada ao custo de exploração, que muitas vezes pode ser inferior ao custo do tratamento de águas superficiais.

O município de Campo Grande - MS têm 46% do abastecimento de água feito por meio de poços tubulares profundos e 54% por captações superficiais. O abastecimento por poços é realizado pela disponibilidade subterrânea no município de três sistemas aquíferos: Sistema Aquífero Bauru (SAB), Sistema Aquífero Guarani (SAG) e Sistema Aquífero Serra Geral (SASG). Para esse trabalho foram utilizados 130 poços tubulares profundos, sendo 30 do SAB, 15 do SAG e 85 do SASG.

O início da perfuração de poços tubulares profundos, no município de Campo Grande, datou-se a partir de meados de 1970. A operação de poços tubulares profundos era executada pela Companhia de Saneamento do Estado de Mato Grosso - SANEMAT. Em 1979, com a divisão do estado em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, a concessão dos serviços públicos de água e esgoto, foi transferido para a Empresa de Saneamento do Estado de Mato Grosso - SANESUL. A partir de 2000, criou-se a concessão privada Águas Guariroba S.A., tornando-se a concessionária responsável pelos serviços de saneamento e abastecimento de água do município de Campo Grande, que atua até o presente (Tcacenco-Manzano, *et al.*, 2016).



A principal fonte de abastecimento superficial do município de Campo Grande, a captação Guariroba, dista 30 quilômetros da estação de tratamento de água, onerando o custo de adução e colocando em risco o abastecimento do município, em caso de rompimento da adutora. Com isso, é importante que se faça um monitoramento detalhado dos sistemas aquíferos, como forma de gestão e otimização da exploração de água para abastecimento público.

O objetivo principal desse trabalho é avaliar os rebaixamentos potenciométricos dos sistemas aquíferos no município de Campo Grande.

Hirata *et al.* (2012), em estudo do rebaixamento da potenciometria no SAG, no município de Araraquara (SP), borda leste do sistema aquífero, relata um rebaixamento de 15 metros em um período de 20 anos e enfatiza que isso acontece oriundo do regime de bombeamento e interferência entre poços. Lourencetti *et al.* (2016) enfatiza um rebaixamento de até 7 m no SAB, no município de São José do Rio Preto (SP), condicionada à perfuração de novos poços no município.

### 1.1 Localização da área de estudo

O município de Campo Grande está inserido na região centro oeste do Brasil, geograficamente na porção central do estado do Mato Grosso do Sul (Figura 1). Sua área urbana está delimitada pelas coordenadas geográficas: latitude 20°26'34"S e longitude 54°38'47" e a cota altimétrica do município varia entre 500 a 699 metros. A população do município é estimada em 863.982 habitantes, para o ano de 2016 (IBGE, 2017). A área do município abrange 8.092,951 km<sup>2</sup>, sendo sua área urbana de 359 km<sup>2</sup> (PLANURB, 2016). No ano de 2017, conforme dados da empresa Águas Guariroba, a média da demanda de volume mensal para o abastecimento desse município foi de aproximadamente 7.000.000 m<sup>3</sup>, sendo que 46% desse volume procedem de captações subterrâneas.

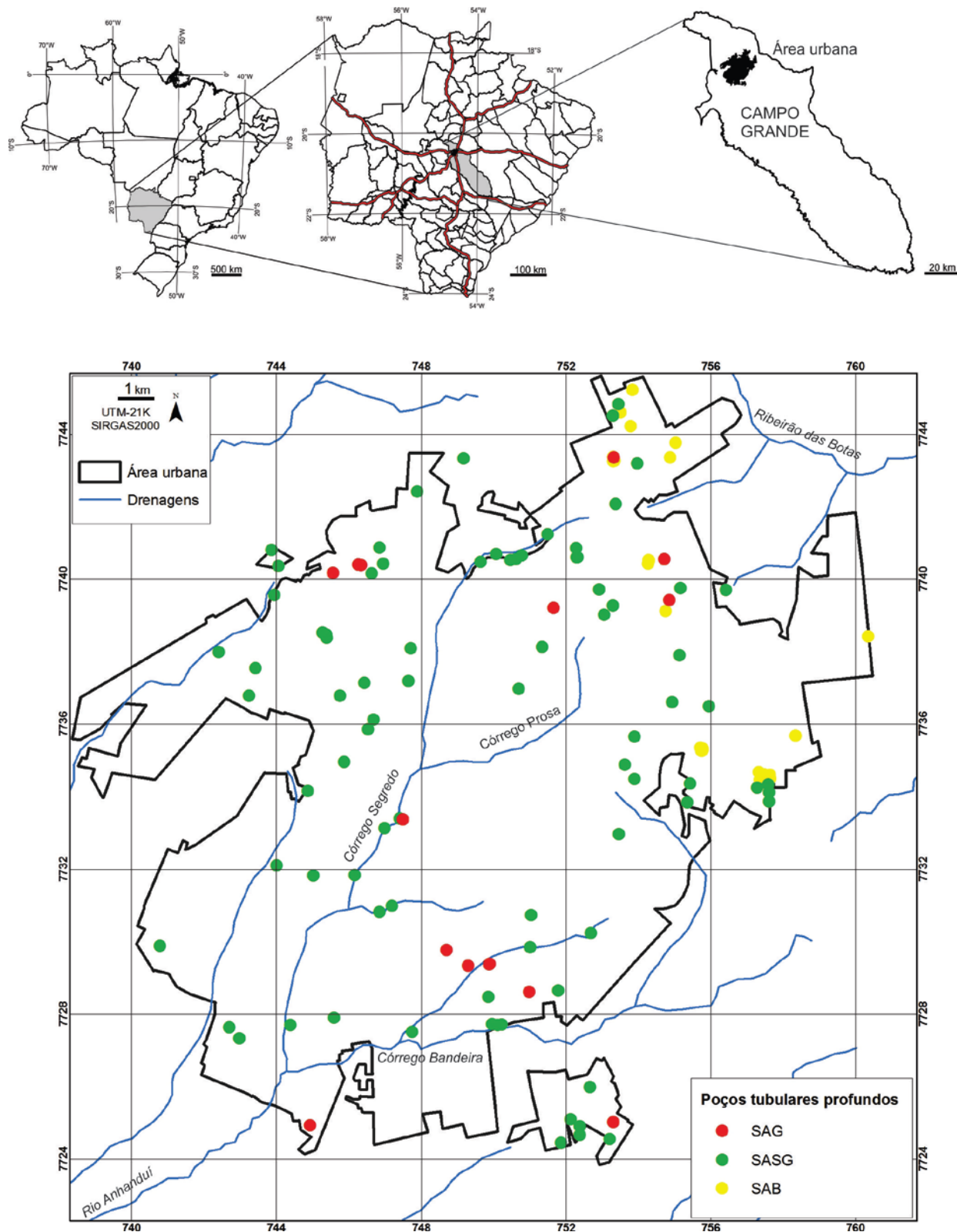


Fig. 1: Mapa de localização dos poços tubulares profundos na área urbana do município de Campo Grande, MS, com base de dados de drenagem IBGE em escala 1:250.000.

## 1.2 Geologia e hidrogeologia local

O SAB insere-se na Bacia Bauru, resposta a carga supracrustal e deflexão flexural resultantes do início da orogenia andina, durante a migração para oeste da Placa Sul-Americana e a subducção da Placa Farallon (Menegazzo *et al.*, 2016). Ainda nesse trabalho, os autores referem-se a Bacia Bauru como parte de uma província *back-bulge* de um *retroarc foreland system*, desenvolvido no oeste da América do Sul. Já os SAG e SASG pertencem a Bacia Sedimentar do Paraná (CPRM, 2014).

O SAB é descrito como uma unidade hidrogeológica sedimentar composta por arenitos finos, porosa e, localmente, com intercalações de finas camadas de silte (CPRM, 2006, 2012). Por essas características, Uechi, *et al.*, (2016), propõem esse sistema aquífero como uma unidade geológica propensa à contaminações.

Rosa Filho (1982) após realização de testes de aquíferos na região noroeste do estado do Paraná, e, através de cálculos do coeficiente de armazenamento, definiu o aquífero Caiuá como um aquífero semi-confinado. Segundo Celligoi (2000) a unidade é definida como um aquífero livre.

TAHAL/SANESUL (1998) estabelece um modelo conceitual desse sistema aquífero com sentido de fluxo do aquífero de oeste para leste, tendo suas cotas mais elevadas no município de Campo Grande (700 a 600 metros) e as menores cotas próximas a calha do rio Paraná (250 m). Campos (2004) caracteriza a predominância de águas bicarbonatadas predominantemente cálcicas, devido a composição mineralógica da formação geológica. No município de Campo Grande, o SAB possui características de um sistema aquífero livre, possuindo médias de vazões de exploração de 20 a 30 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>.

Gastmans (2007) apresenta a Formação Botucatu (unidade que compõe o Sistema Aquífero Guarani, juntamente com a Formação Pirambóia), como sendo constituída por quartzo arenitos com estratificações cruzadas, granulação fina a média com grãos subarredondados a bem arredondados, com boa esfericidade. Segundo TAHAL/SANESUL (1998), os poços que exploram o SAG podem ter vazões aproximadas de até 320 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. No município de Campo Grande, há produção de poços tubulares de até 250 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> nesse sistema aquífero. Nessa localidade, ainda segundo

TAHAL/SANESUL (1998) o SAG está semi-confinado por basaltos da Formação Serra Geral, que possui localmente, espessuras de até 290 metros. Gastmans *et al.*, (2010) considera que no município de Campo Grande o SAG está confinado.

Lastoria (2002) classifica como o Sistema Aquífero Serra Geral como aquífero regional livre, de meio fissurado, anisotrópico, que apresenta um controle estrutural bem marcante. A recarga ocorre em toda a área de afloramento dos derrames basálticos, sendo que a área urbana do município de Campo Grande é uma contribuição hídrica importante na recarga do aquífero (Lastoria, 2006). O comportamento desse aquífero como livre indica, segundo Lastoria (2002), a responsabilidade do mesmo pela manutenção das águas fluviais nas estações secas, sendo que o sistema aquífero subterrâneo alimenta o sistema hídrico superficial. No município de Campo Grande as vazões médias explotadas desse sistema aquífero são da ordem de  $30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , com média na vazão de poços explotados desse sistema aquífero no ano de 2016.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado com o acervo de dados de poços tubulares profundos do município de Campo Grande. O acesso foi possibilitado pela empresa Águas Guariroba S.A, responsável pelo serviço de saneamento e abastecimento público do município de Campo Grande. Para compilação de dados foram utilizados 130 poços tubulares profundos, sendo 85 do SASG, 15 do SAG e 30 do SAB. Cabe ressaltar que todos esses poços estão em operação. As medições de níveis estáticos são realizadas após o desligamento do poço e com um período de recuperação de 4 horas. Apenas dois poços do SAG são poços que não estão em operação: CGR-167 e CGR-174 e servem para monitoramento de níveis no município.

As medições de níveis estáticos são realizadas uma vez por semestre pela concessionária. Os dados de medições atuais dos níveis estáticos foram realizadas entre abril e maio do ano de 2016.

A análise histórica da potenciometria dos sistemas aquíferos no município de Campo Grande foi efetuada para verificar como eram os níveis estáticos na perfuração e a que profundidade estão atualmente. A partir disso, foram confeccionados gráficos e perfis que mostrassem a variação do nível estático ao longo da produção dos poços.

Os dados de precipitação mensal no período de 2002-2016 foram compilados por meio do Centro de monitoramento do tempo, clima e recursos hídricos de Mato Grosso do Sul – CEMTEC instalado no ano de 2002. Assim, foi possível calcular o acumulado de precipitação anual, fornecer a média e mediana de precipitação para o período estipulado além dos valores médios e medianos mensais nos anos.

Os mapas aqui apresentados como resultados foram confeccionados no *software Arc Map*, versão 10.3. A interpolação para a geração dos mapas foi do *IDW*.

Três poços tubulares profundos do projeto de Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas (RIMAS) do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) foram utilizados para o comparativo do padrão regional do SAB. Foram eles, poços dos municípios de Água Clara, Camapuã e Ribas do Rio Pardo.

A análise da capacidade específica dos poços foi realizada por meio de dados de produção dos poços entre abril e maio de 2016.

Quanto aos valores de espessura saturada do SAB foram retiradas as informações dos perfis de poço cedidos pela concessionária e são apresentados na tabela 1.

TAB 1: DADOS DE POTENCIOMETRIA E ESPESSURAS SATURADA DO SAB NA PERFURAÇÃO E NO ANO DE 2016

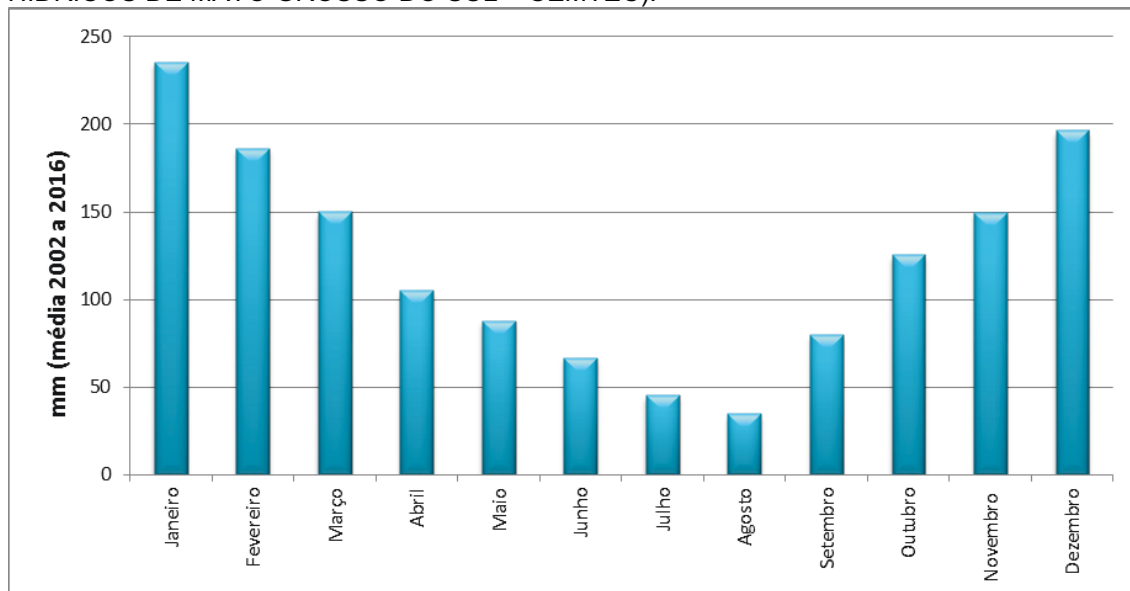
POÇOS	COTA (m)	Potenciometria SAB perfuração (m)	Potenciometria SAB atual (m)	Cota Base SAB/ Topo Serra Geral (m)	Q Perfuração (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	Q atual (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	Espessura Saturada perfuração (m)	Espessura saturada atual (m)
<b>CGR-119</b>	655	644	644	615	27	24	29	29
<b>CGR-178</b>	674	654	652	623	25	24	31	29
<b>CGR-179</b>	673	651	651	622	12	10	29	29
<b>CGR-181</b>	682	646	657	618	17	13	28	39
<b>CGR-182</b>	655	637	644	621	22	16	16	23

POÇOS	COTA (m)	Potenciometria SAB perfuração (m)	Potenciometria SAB atual (m)	Cota Base SAB/ Topo Serra Geral (m)	Q Perfuração (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	Q atual (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	Espessura Saturada perfuração (m)	Espessura saturada atual (m)
continua								
CGR-193	508	503	503	465	14	27	38	38
CGR-197	695	649	649	627	20	18	22	22
CGR-224	698	624	627	583	21	22	41	44
CGR-225	698	625	628	586	27	24	39	42
CGR-226	699	657	651	635	18	23	22	16
CGR-227	699	652	651	637	42	26	15	14
CGR-228	699	653	651	635	17	14	18	16
CGR-230	664	653	647	622	11	12	31	25
CGR-231	665	644	634	607	42	12	37	27
CGR-232	665	643	630	607	42	25	36	23
CGR-241	665	639	635	607	37	18	32	28
CGR-242	665	641	636	607	48	32	34	29
CGR-248	699	650	646	624	50	23	26	22
CGR-249	698	650	645	623	40	28	27	22
CGR-250	680	638	624	595	81	39	43	29
CGR-251	681	637	632	594	89	28	43	38
CGR-252	680	633	622	592	77	22	41	30
CGR-253	680	629	623	592	54	20	37	31
CGR-254	684	628	626	587	51	27	41	39
CGR-255	682	629	623	594	55	38	35	29
CGR-257	682	629	627	597	70	24	32	30
CGR-258	677	632	624	592	120	68	40	32
CGR-259	671	639	637	597	58	44	42	40
CGR-260	699	647	646	625	38	34	22	21
CGR-265	655	632	623	595	30	19	37	28

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

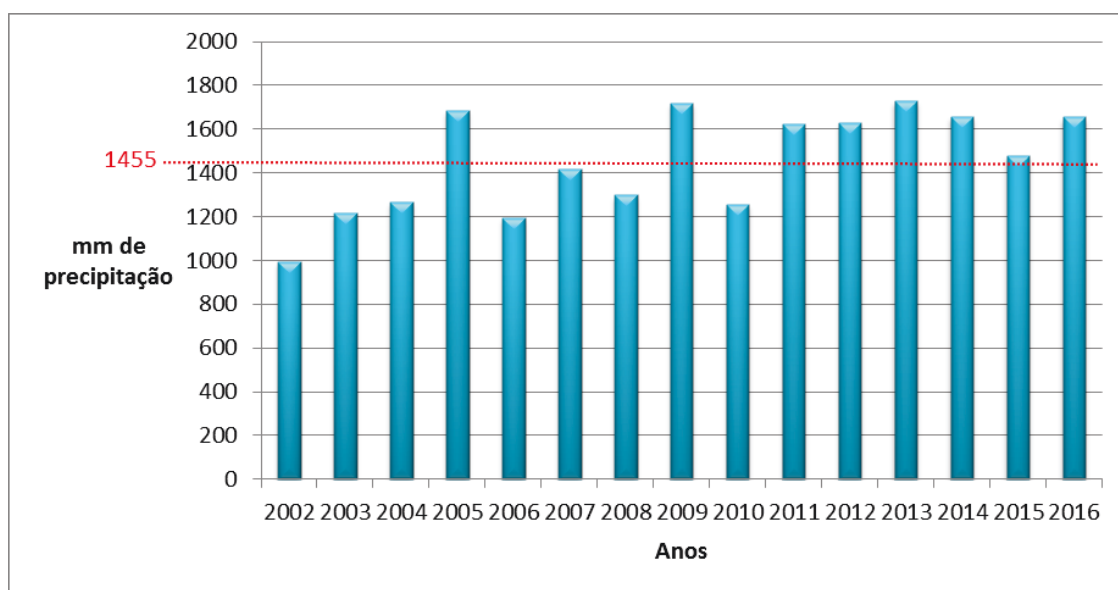
A análise da precipitação pluviométrica no período de 2002 a 2016 gerou os dados fornecidos na Gráfico 1. Nesse gráfico é possível verificar maio, junho, julho e agosto como meses com menor precipitação, sendo o mês de agosto o mais seco.

GRÁF.1: GRÁFICO DE PRECIPITAÇÃO MENSAL ACUMULADA DO PERÍODO DE 2002-2016, (ADAPTADO DO CENTRO DE MONITORAMENTO DO TEMPO, CLIMA E RECURSOS HÍDRICOS DE MATO GROSSO DO SUL – CEMTEC).



O valor médio de precipitações anuais desse período chegou ao valor de 1.455 mm (Gráfico 2) e a mediana 1.481 mm. Com o gráfico, podemos visualizar que os anos de 2002, 2003, 2004, 2006, 2007, 2008, 2010 a precipitação foi inferior a média nesse intervalo de tempo.

GRAF. 2: PRECIPITAÇÃO ANUAL ACUMULADA ENTRE OS ANOS DE 2002 E 2016



Os resultados da variação potenciométrica dos sistemas aquíferos é apresentado a seguir, separados por sistema aquífero.

### 3.1 Sistema Aquífero Bauru (SAB)

As maiores espessuras saturadas atuais do SAB encontram-se a leste no município de Campo Grande, em direção ao centro da bacia Bauru. Essas espessuras que restringem-se a 16 metros, podem atingir 44 metros em sua maior espessura.

Houve um rebaixamento médio de 2,4 metros no nível estático do SAB no município de Campo Grande (Figura 2) em 5 anos de operação desses poços tubulares profundos. A espessura saturada média na perfuração era de 32,1 metros (mediana 33 metros) e a espessura saturada no ano de 2016 é de 29,7 metros (mediana 29).

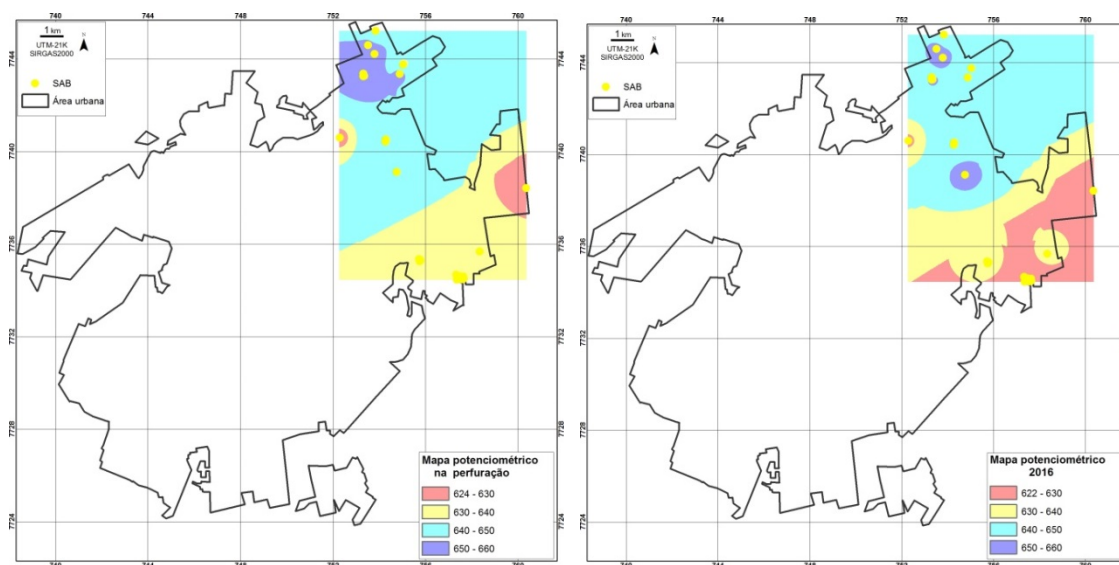


Fig. 2: Mapa potenciométrico do SAB na perfuração, entre os anos de 2002-2010 (à esquerda) e profundidades para o ano de 2016 (direita). Nota-se uma diferença média de 2 metros na cota de perfuração de 624 m para 622 m de profundidade do nível estático atual

Nota-se que o poço tubular profundo CGR-181 apresenta uma recuperação de nível estático comparado a profundidade do nível estático na perfuração.

Quando comparamos a variação da profundidade dos níveis estáticos do SAB no município de Campo Grande com a variação regional do SAB, por meio



dos poços do RIMAS, verificamos uma variação de até 1,6 metros no nível estático pelo período de 2012 a 2017 (Figura 3 ).

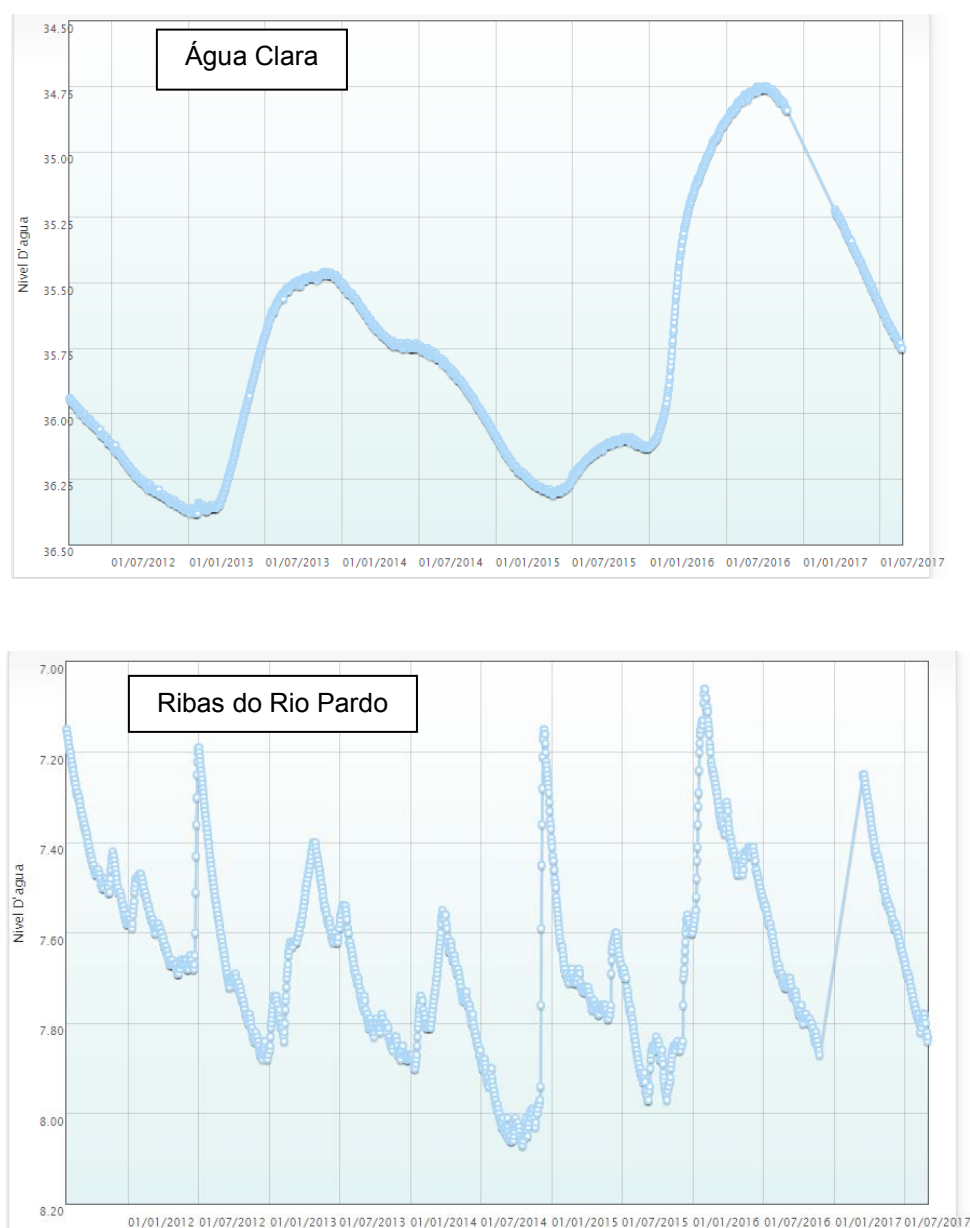


Fig. 3: Variação do nível estático no período de 2012 a 2017 nos poços RIMAS de Água Clara e Ribas do Rio Pardo (RIMAS, 2017)

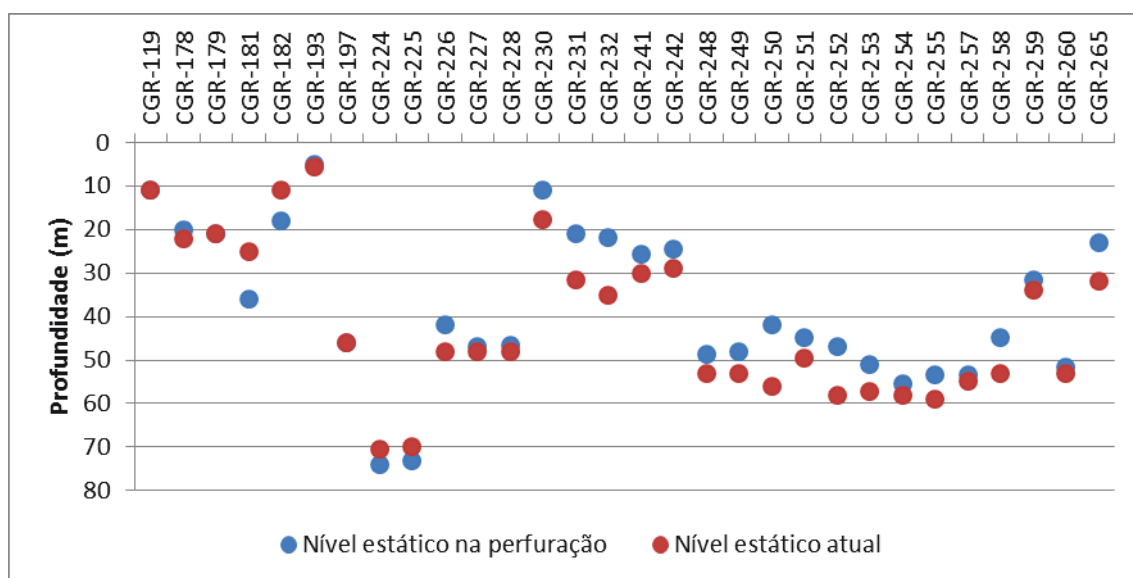
O município de Água Clara, que dista 180 km a leste do município de Campo Grande, apresenta a profundidade de nível mais profunda a 36,38 m e a mais rasa de 34,75 m, no período monitorado de 2012 a 2017. Com isso a variação de profundidade do nível de água do município é de 1,63 m.

O município de Ribas do Rio Pardo, que localiza-se aproximadamente a 90 km a leste de Campo Grande, apresentou uma medição de 7,06 m em sua

profundidade mais rasa e 8,07 m em sua profundidade de nível de água mais profundo, ou seja, variou 1,1 m.

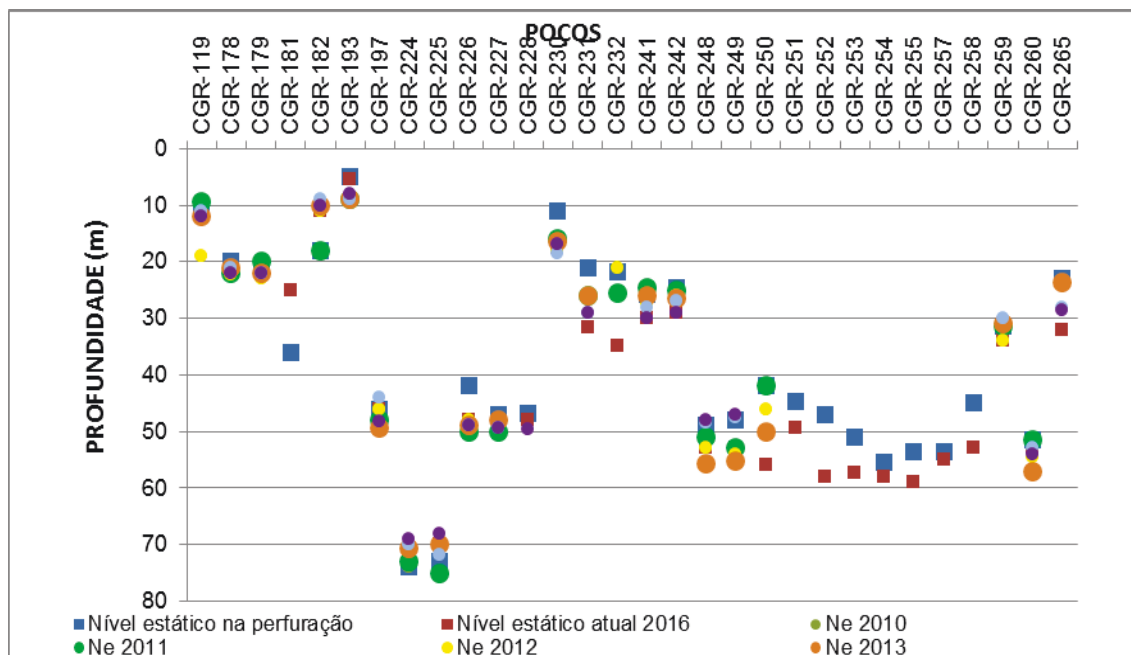
Pelo acompanhamento dos níveis estáticos no município de Campo Grande observou-se que no ano de 2016 os níveis estáticos estavam mais profundos do que os níveis estáticos na perfuração. A exceção para esse predomínio são os poços: CGR-181, CGR-182, CGR-224 e CGR-225 que apresentam níveis estáticos atuais mais rasos do que na perfuração (Gráfico 2).

GRAF. 1: PROFUNDIDADE DE NÍVEL ESTÁTICO DO SAB NA PERFURAÇÃO E NO ANO DE 2016.



O acompanhamento dos poços no período de 2010-2016 mostra uma oscilação dos níveis estáticos durante esse período estudado (Gráfico 3).

GRAF. 2: ACOMPANHAMENTO DOS NÍVEIS ESTÁTICOS DOS POÇOS PARA O SAB NO PERÍODO DE 2010-2016



Os poços CGR-250 a CGR-258 foram perfurados em uma área com pequena extensão ( $70.000 \text{ m}^2$ ) fato esse que poderá indicar um rebaixamento local pontual no sistema aquífero. Isso também acontece para os CGR-231, CGR-232, CGR-241 e CGR-242 que estão perfurados em uma área com  $2100 \text{ m}^2$  cuja maior distância entre poços é de 70 metros.

Quanto a produtividade desse sistema aquífero, os poços do SAB apresentam valores médios de capacidades específicas de  $3,7 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$ , com um valor máximo de  $13 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$ , mínimo  $0,6 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$  e mediana 3,1. Conforme a classificação da CPRM (2014) esse sistema aquífero pode ser classificado como uma produtividade alta.

### 3.2 Sistema Aquífero Guarani

Não foi possível calcular a espessura saturada do SAG pelo fato desse ser um sistema aquífero confinado. Além disso, a perfuração desses poços para exploração de água não foi realizada por sua espessura total, o que impede um cálculo preciso da sua espessura.

O acompanhamento da profundidade dos níveis estáticos na perfuração (a partir de 1994) e atual (2016), mostrou que há uma variação na potenciométrica desse sistema aquífero (Figura 4).

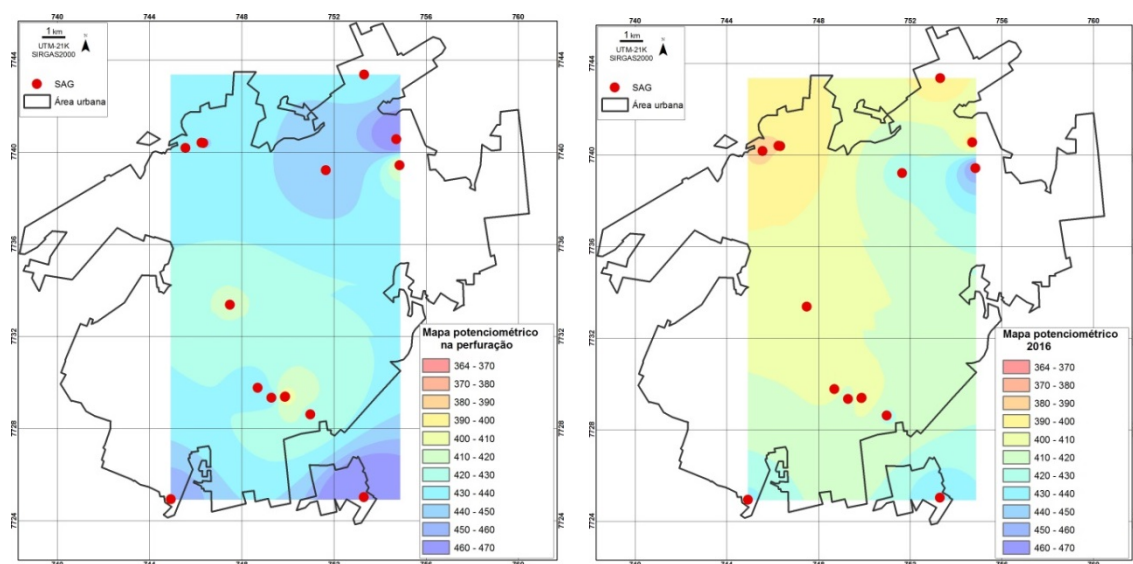
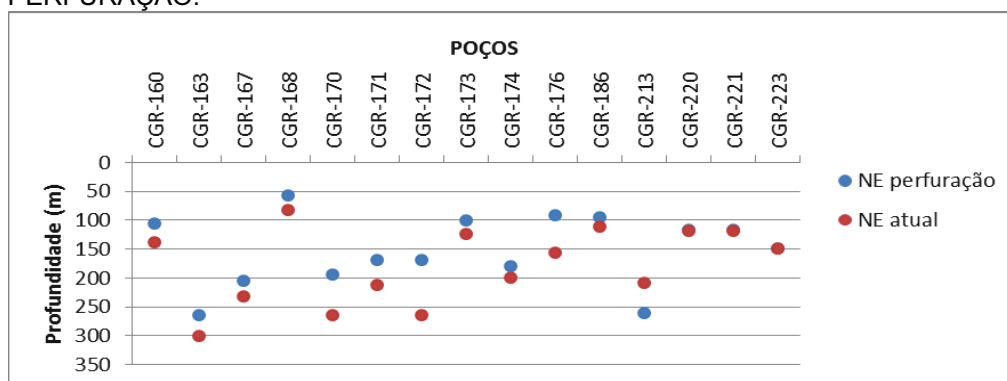


Fig. 4: Mapa de potenciométrico do SAG na perfuração 1994-1997 (à esquerda) e para o ano de 2016 (direita). Nota-se um aprofundamento das profundidades de níveis estáticos no município, com excessão do poço CGR-213, perfurado em 2008.

No mapa de profundidades nota-se um rebaixamento regional do nível estático comparativamente à época da perfuração (meados de 1994), rebaixamento esse que se registra após 22 anos de operação desses poços. Há apenas um poço que é excessão desse padrão em que há uma recuperação de nível estático (Gráfico 4). Em 7 anos que antecederam a perfuração desse poço, CGR-213, os níveis de precipitação eram inferiores a média de precipitação do período, o que poderia justificar um nível estático mais profundo naquele ano do que o atual. Os anos posteriores a perfuração do poço apresentam precipitações acima da média histórica desse período. Uma outra explicação para isso é que o poço CGR-213 foi perfurado e estava, na perfuração, sob a influência de interferência de outros poços, provavelmente pelo CGR-172, que dista 1.100 metros. Isso não pode ser afirmado pois não foi realizado o teste de interferência entre poços.

GRAF. 3: PROFUNDIDADES DE NÍVEIS ESTÁTICOS NO ANO DE 2016 E NO ANO DA PERFURAÇÃO.



O gráfico de profundidades de nível estático obedece um padrão de valores de níveis atuais mais profundos do que na época da perfuração. Contudo o CGR-213 apresenta valores mais rasos atualmente do nível estático. Os poços CGR-220, CGR-221 e CGR-223 mantiveram os valores aproximados.

Os perfis construtivos dos quinze poços do SAG podem ser visualizados através da figura 6. Nela, pode-se observar a indicação da profundidade do nível estático na perfuração e do nível estático atual. Os poços que mantiveram os níveis estáticos aproximados aos valores da perfuração (período de 8 anos ) apresentam uma espessura de basalto sobrejacente mais delgado.

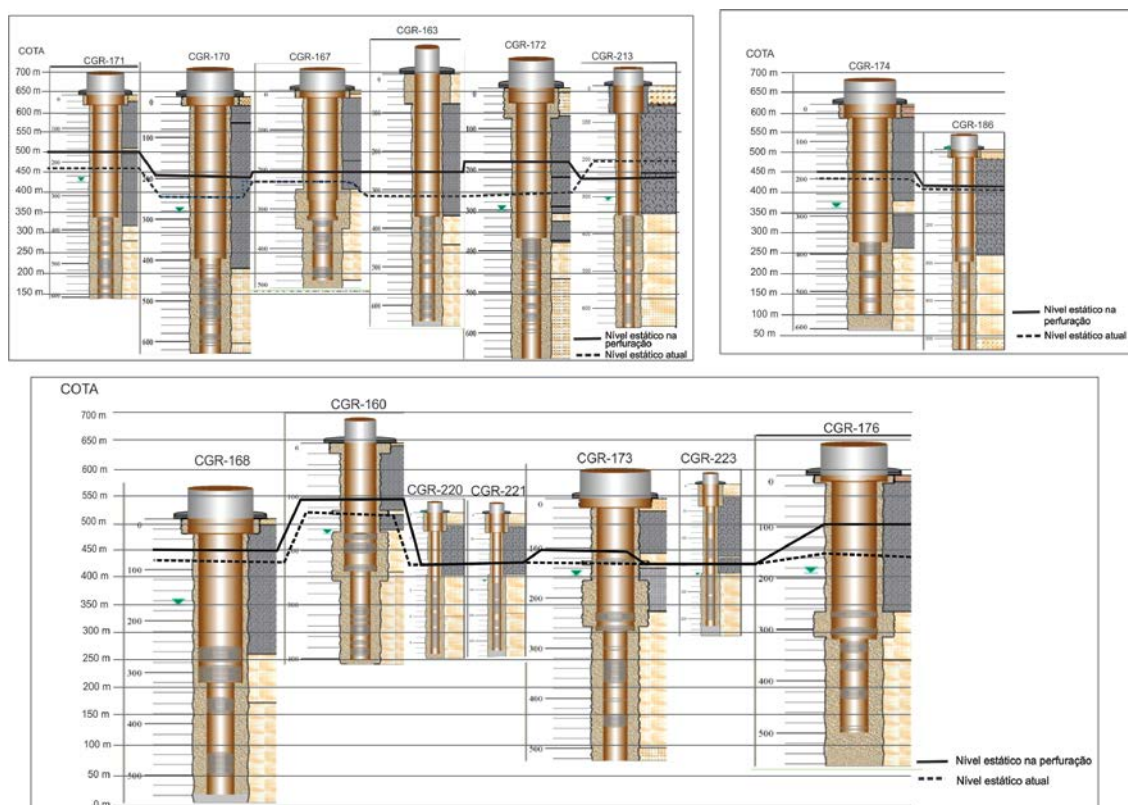


Fig. 5: Perfis construtivos de poços tubulares profundos do SAG com indicação de nível estático na perfuração e no ano de 2016.

O poço que intercepta o SAG em uma profundidade mais rasa, 134 metros apresenta valor de temperatura  $27,3^{\circ}\text{C}$ , que corresponde ao mínimo do valor de temperatura para esse sistema aquífero. De uma forma geral, o topo forma geral, no município de Campo Grande, a profundidade média do topo do SAG é de 250 m. Com isso, a espessura sobrejacente de basalto se restringe a 110 metros. . No estado do Paraná o SAG com temperatura abaixo de  $30^{\circ}$  apresenta profundidades inferiores a 400 metros (Hindi, 2009). Ainda com referência a esse trabalho, poços com profundidades por volta de 200 metros apresentam uma temperatura aproximada de  $27^{\circ}\text{C}$ .

O rebaixamento médio de nível estático foi de aproximadamente 34 metros, sendo que dos quinze poços, onze foram perfurados em meados de 1994, totalizando assim vinte e dois anos de operação.

O SAG apresenta valores altos de capacidade específica, sendo que há 4 poços com valores de 8,5, 9,2, 9,9 e 9,8  $\text{m}^3 \text{h}^{-1} \text{m}^{-1}$ . A média de capacidades específicas para esse sistema aquífero é de 5,8  $\text{m}^3 \text{h}^{-1} \text{m}^{-1}$ , a mediana é 5,1  $\text{m}^3 \text{h}^{-1} \text{m}^{-1}$ , o valor mínimo 0,9  $\text{m}^3 \text{h}^{-1} \text{m}^{-1}$  e o valor máximo de 9,9



$\text{m}^3 \text{h}^{-1} \text{m}^{-1}$ . Hirata *et al.* (2012) na borda leste do sistema aquífero relata capacidades específicas de até  $13 \text{m}^3 \text{h}^{-1} \text{m}^{-1}$ . CPRM (2014) classifica esse sistema aquífero como uma produtividade muito alta (acima de  $4 \text{m}^3 \text{h}^{-1} \text{m}^{-1}$ ).

### 3.3 Sistema Aquífero Serra Geral

O mapa potenciométrico do SASG, único sistema aquífero fraturado/fissural do município, apresenta valores de níveis estáticos atuais aproximados aos valores da perfuração, conforme observado na figura 6.

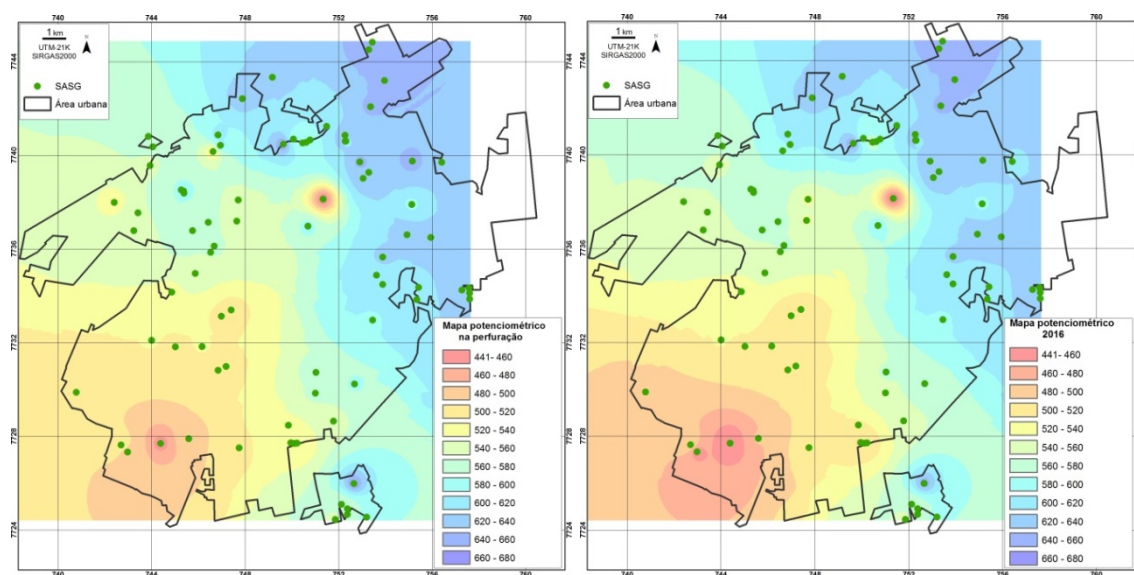


Fig. 6: Mapa potenciométrico do SASG na perfuração e nos valores do ano de 2016.

Diferentemente dos sistemas aquíferos sedimentares, o SASG mantém um padrão de níveis estáticos constantes no município. Alguns desses poços, perfurados nos anos 70 somam mais de 30 anos de operação. Pequenas variações pontuais de aprofundamento de níveis estáticos são percebidas, como no CGR-182.

O SASG apresenta média de valores de capacidades específicas de  $2,3 \text{m}^3 \text{h}^{-1} \text{m}^{-1}$ , valores de medianas de  $1,9 \text{m}^3 \text{h}^{-1} \text{m}^{-1}$ , com valores mínimos de  $0,1 \text{m}^3 \text{h}^{-1} \text{m}^{-1}$ , valores máximos de 9. CPRM (2014) recomenda que para sistema aquíferos fraturados a análise da produtividade deve ser feita considerando apenas os dados de vazão. A média de vazão do SASG é de  $27,5 \text{m}^3 \text{h}^{-1}$ , a mediana de  $25 \text{m}^3 \text{h}^{-1}$ , o valor mínimo de  $5 \text{m}^3 \text{h}^{-1}$  e o valor máximo de vazão de  $92 \text{m}^3 \text{h}^{-1}$ . Isso classifica a unidade hidroestratigráfica com uma produtividade moderada (CPRM, 2014).

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados dos valores de capacidade específica dos poços tubulares profundos do município de Campo Grande comprovam um alto potencial hidrogeológico para exploração de água por meio de poços tubulares profundos dos três sistemas aquíferos para o abastecimento público no município. Os dois sistemas aquíferos sedimentares podem ter a sua produtividade classificadas, conforme CPRM (2014), como muito alta e alta, SAG e SAB respectivamente. Para o SASG a produtividade é considerada moderada. Assim, deve ser realizado o monitoramento constante desse parâmetro para manutenção desse potencial e eventuais ajustes na exploração de poços tubulares profundos.

A análise da variação dos níveis estáticos é importante para verificar se não há superexploração dos aquíferos contribuindo assim para rebaixamentos locais.

Para o SAB, os poços que no ano de 2016 apresentam níveis estáticos mais rasos foram perfurados em períodos de grave crise hídrica no município, especialmente nos anos de 2002 e 2008, nos quais a precipitação foi de respectivamente, de 994 mm e 1300 mm. Como a média de precipitações no período de 2002-2016 foi de 1445 mm, consideram-se os valores antes descritos abaixo da média.

Quando se compara o SAB regional com o SAB no município de Campo Grande, em, um período de 5 anos, observa-se no contexto regional momentos em que há um rebaixamento de até 2,5 metros, sendo esse, o rebaixamento aproximado do município. Portanto, no estudo do município de Campo Grande não pode ser afirmado que o rebaixamento do nível estático nos anos estudados seja um rebaixamento no sistema aquífero. O monitoramento dessa variação de níveis precisa ser realizada por um período mais extenso de tempo. Pontualmente, em áreas pequenas com perfurações de vários poços podemos dizer que há ou uma interferência entre poços no bombeamento ou um rebaixamento pontual do sistema aquífero Bauru.

Para o SAG, em vinte dois anos de funcionamento dos poços, observa-se uma variação média de 34 metros no nível estático da perfuração para



atual, sendo que esses valores podem indicar um aprofundamento regional do nível estático desse sistema aquífero. Os poços CGR-167 e CGR-174 que não estão em operação, também apresentam variações dos níveis estáticos, sendo 26 metros e 20 metros, respectivamente.

O período de análise de alguns poços do SASG ultrapassa 30 anos e por meio dos mapas pode-se concluir que as variações de níveis são pontuais, o que não implica em aprofundamentos significantes no contexto do estudo desse sistema.

Sendo assim, a avaliação temporal periódica dos sistemas aquíferos se faz necessária visando tanto o abastecimento contínuo de grandes cidades quanto o entendimento do comportamento dos sistemas aquíferos ao longo dos anos, funcionando como um instrumento de gestão para as concessionárias de abastecimento, de forma a prevenir rebaixamentos ostensivos nos sistemas aquíferos.

## 5.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DE PARÂMETROS DOS TRÊS SISTEMAS AQUÍFEROS

A análise dos parâmetros como Temperatura (°C), pH, Condutividade (uS/cm), Sólidos Totais Dissolvidos (STD) (mg/L), Dureza (mg/L CaCO<sub>3</sub>) serão apresentadas a seguir. Cabe ressaltar que esses dados constavam dos boletins das análises de águas dos poços, cedidos pela empresa Águas Guariroba S.A. A apresentação dos resultados foi feita dividindo-os por sistema aquífero, além da apresentação de gráficos desses parâmetros englobando os três sistemas aquíferos.

### 5.3.1 Sistema Aquífero Guarani

Para o SAG, foram obtidos os resultados de quinze poços apresentados na tabela 7, no qual as medições foram realizadas no período de abril a maio de 2016.

TABELA 7: CÁLCULOS ESTATÍSTICOS DE VALORES DE PARÂMETROS ANALISADOS POR POÇO NO SAG

	Temperatura (°C)	pH	Condutividade elétrica (µS/cm)	Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)
Mínimo	27,3	6,96	72,8	39	65
Percentil 25%	30,2	7,44	105,9	48	93
Mediana 50%	31,3	7,85	175,6	56	105
Média	32,23	7,66	162,74	56,33	114,6
Percentil 75%	36,00	7,91	220	63	130
Máximo	38,3	8,05	259,1	96	192
Portaria 2914 Valores máximos permitidos	–	6,0 a 9	–	500	1000

Para o SAG, a temperatura média encontrada no ano de 2016 foi de 32°C, com valores mínimos de 27,3°C e valores máximos podendo alcançar a temperatura de 38,3 °C. O pH é predominantemente neutro, tendendo a alcalino. Além disso, os valores de sólidos totais dissolvidos, dureza e pH dentro dos valores máximos permitidos para potabilidade.

### 5.3.2 Sistema Aquífero Bauru

No tratamento estatístico dos dados de vinte e cinco poços para esse sistema aquífero, no período de abril a maio obtiveram-se os valores inseridos na tabela 8.

TABELA 8: PARÂMETROS ANALISADOS PARA O SAB, PARA 25 POÇOS TUBULARES PROFUNDOS NO ANO DE 2016

	Temperatura ( ° C)	pH	Condutividade elétrica ( $\mu$ S/cm)	Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	Nitrato (N-NO <sub>3</sub> ) (mg/L)
Mínimo	24,20	4,02	4,50	1,00	10,00	1,00
Percentil 25%	25,45	4,60	10,85	1,00	16,00	1,78
Mediana 50%	25,90	4,79	25,30	1,48	57,00	6,35
Média	25,83	4,75	55,50	1,00	61,68	5,74
Percentil 75%	26,20	4,94	96,65	1,00	113,00	8,17
Máximo	27,00	5,38	158,60	8,00	125,00	12,40
Portaria 2914 Valores máximos permitidos	—	6,0 a 9	—	500	1000	10

Os valores de temperatura obtidos nos poços tubulares do SAB mantêm uma média 25°C, com valores mínimos de 24,2 °C e valores máximos podendo chegar até 27°C.

Para o SAB observa-se que todos os valores de pH encontram-se com valores mais ácidos, com valores inferiores a 5,5. Os valores de durezas são extremamente baixas, quando comparadas ao SAG. Com esse mesmo comparativo, a condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos também apresentam valores baixos.

Os poços CGR-181 e CGR-249 apresentam o parâmetro nitrato com valores superiores ao máximo permitido, sendo 12,4 mg/L e 10,4 mg/L, respectivamente. Esse poços possuem uma condutividade elétrica 158,6

$\mu\text{S/cm}$  e 147,9  $\mu\text{S/cm}$  e sólidos totais dissolvidos 125 mg/L e 123 mg/L, respectivamente.

### 5.3.3 Sistema Aquífero Serra Geral

Os resultados da análise estatística dos dados de análises de sessenta e oito poços para o SASG, com coletas no período de abril a maio de 2016 são apresentados na tabela 9.

TABELA 9: VALORES ANALISADOS COM MÍNIMO, MÁXIMO E MÉDIA, PRIMEIRO QUARTIL, MEDIANA E TERCEIRO QUARTIL PARA O SASG, COM BASE EM 68 POÇOS TUBULARES PROFUNDOS

	Temperatura (° C)	pH	Condutividade ( $\mu\text{S/cm}$ )	Dureza (mg/L $\text{CaCO}_3$ )	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	Nitrato ( $\text{N-NO}_3$ ) (mg/L)
Mínimo	19,00	4,19	7,00	1,00	10,00	1,00
Percentil 25%	25,15	6,26	125,25	37,25	111,25	1,00
Mediana 50%	26,30	6,66	155,40	55,00	139,00	3,40
Média	26,00	6,57	158,96	57,65	139,53	5,45
Percentil 75%	27,17	6,90	182,92	73,00	173,00	7,05
Máximo	31,00	8,40	330,00	140,00	255,00	26,2
Portaria 2914 Valores máximos permitido	—	6,0 a 9	—	500	1000	10

Os resultados apontam que esse é o sistema aquífero que mais apresenta variações dos parâmetros no município, o que é compatível com a heterogeneidade dos sistemas aquíferos fraturados. Os valores de pH apresentam uma variação de ácido a alcalino. Os valores de condutividades elétricas e de sólidos totais dissolvidos também apresentam uma grande variação e, em alguns casos, estão diretamente ligados ao valor alto do parâmetro nitrato.

Na visualização dos parâmetros por meio de gráficos, podemos observar, as diferenças marcantes entre os dois sistemas aquíferos sedimentares, SAB e SAG, sendo o SASG um sistema aquífero que faz a interface entre os dois. A diferença dos valores do pH é marcante e pode ser visualizada na figura 13.

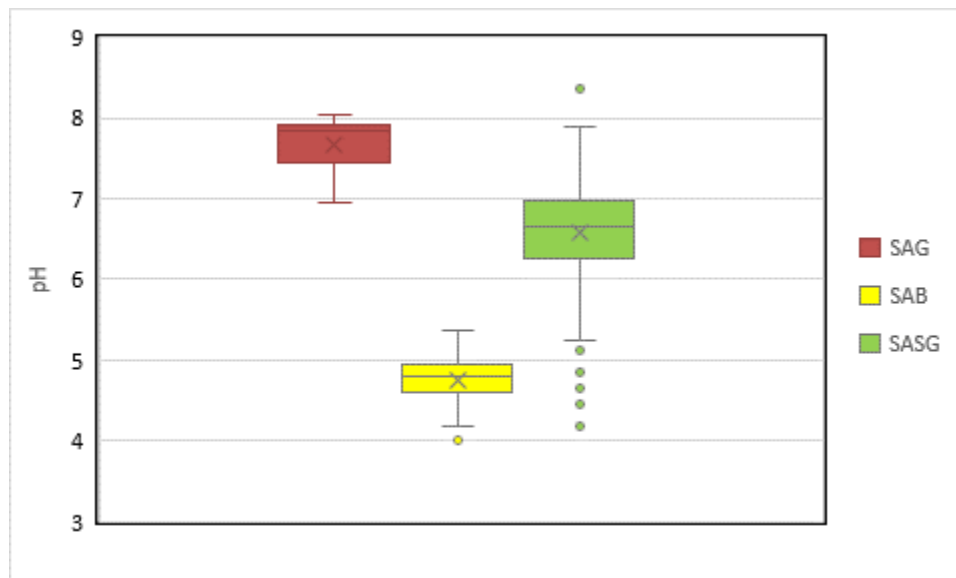


Figura 13: Valores de pH obtidos para os sistemas aquíferos SAB, SAG e SASG, no ano de 2016.

No ano de 2016, no SAB, os valores médios de pH foram de 4,75. O valor mínimo de pH é de 4,02 e o valor máximo é de 5,38. Para o SAG, na mesma área e ano, a média de valores de pH é de 7,6, o valor mínimo encontrado foi de 6,9 e o valor máximo foi de 8,05. Appelo e Postma (2005) definem que os pH ácidos podem acontecer nos aquíferos para as seguintes situações: poços em maiores altitudes; níveis de água mais próximos à superfície; poços em zona de recarga; presença de água com baixo tempo de residência nos aquíferos, concentração de  $\text{CO}_2$  elevada devido a dissolução na atmosfera e nos solos com presença de matéria orgânica em decomposição.

Tal diferença pode ser explicada pelas menores profundidades dos poços do SAB em comparação aos do SAG, além do tempo de residência menor e por esse sistema aquífero estar em área de recarga.

O SAB apresenta um valor de pH abaixo do intervalo de valor determinado pelo padrão de potabilidade. Com isso, para que essa água possa ser distribuída à população, adota-se a adução da água para um reservatório e blendagem com água de outro sistema de captação (outros poços ou captação superficial).

Os valores de temperatura também são utilizados para a diferenciação dos dois sistemas aquíferos e que podem ser observados na figura 14.

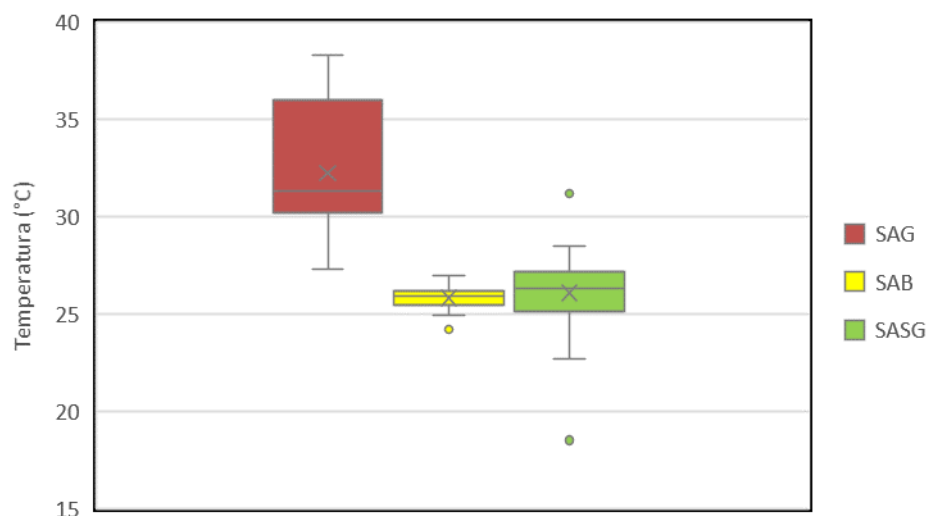


Figura 14: Valores de temperatura obtidos para os sistemas aquíferos SAB, SAG e SASG, no ano de 2016.

Os três poços do SAG que apresentaram valores de temperaturas inferiores a 30°C interceptam o sistema aquífero a uma profundidade mais rasa que os outros poços com a temperatura mais elevada. De uma forma geral, no município de Campo Grande, a profundidade média do topo do SAG é de 250 m. Nesses três poços a profundidade do topo do SAG é de valores inferiores a 200 metros de profundidade. No estado do Paraná o SAG com temperatura abaixo de 30° apresenta profundidades inferiores a 400 metros (Hindi, 2009). Ainda com referência a esse trabalho, poços com profundidades por volta de 200 metros apresentam uma temperatura aproximada de 27 °C.

Os valores de dureza (Figura 15) representadas por mg/L  $\text{CaCO}_3$  para o SAB foram representadas por amostras com valores mínimos menores que 1, uma amostra com valor 5 mg/L  $\text{CaCO}_3$  e uma amostra com valor 8 mg/L  $\text{CaCO}_3$ . O SAG apresenta valores mais elevados de dureza, com uma média obtida de 56 mg/L  $\text{CaCO}_3$ , com valor mínimo de 39 mg/L  $\text{CaCO}_3$  e valor máximo de 96 mg/L  $\text{CaCO}_3$ . Esses valores também se destacam quando diferenciam-se esses dois sistemas aquíferos.

Para o SASG, a diferença dos valores mínimo e máximos confirma a heterogeneidade do sistema aquífero fraturado/fissural.

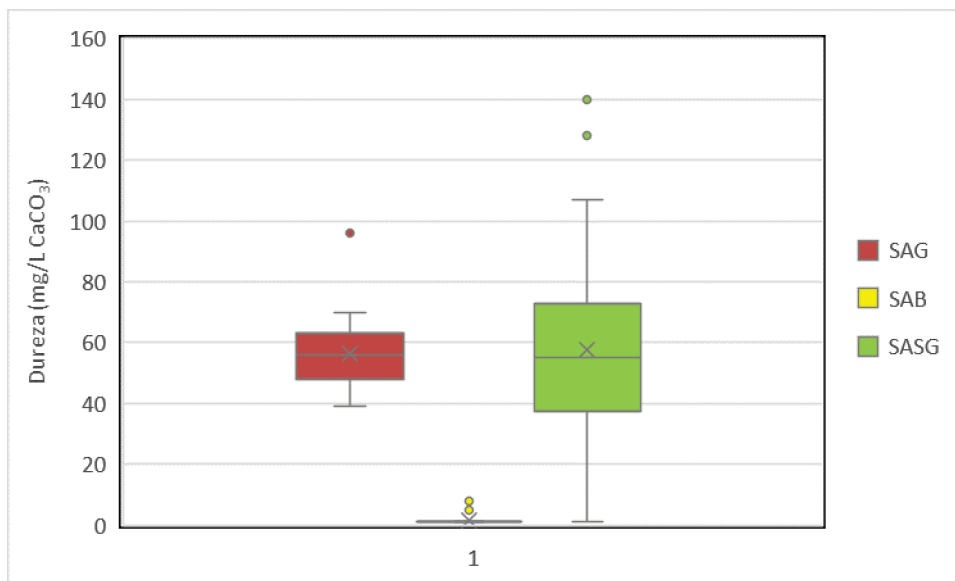


Figura 15: Valores de dureza obtidas para os sistemas aquíferos SAB, SAG e SASG no ano de 2016.

A dureza provém da quantidade de cálcio e magnésio que se tem na água. Com isso, a água com mais tempo de residência no sistema aquífero tende a incorporar mais íons da rocha e enriquecer nesses íons, podendo assim, aumentar a sua dureza.

Os valores de condutividades são apresentados na figura 16.

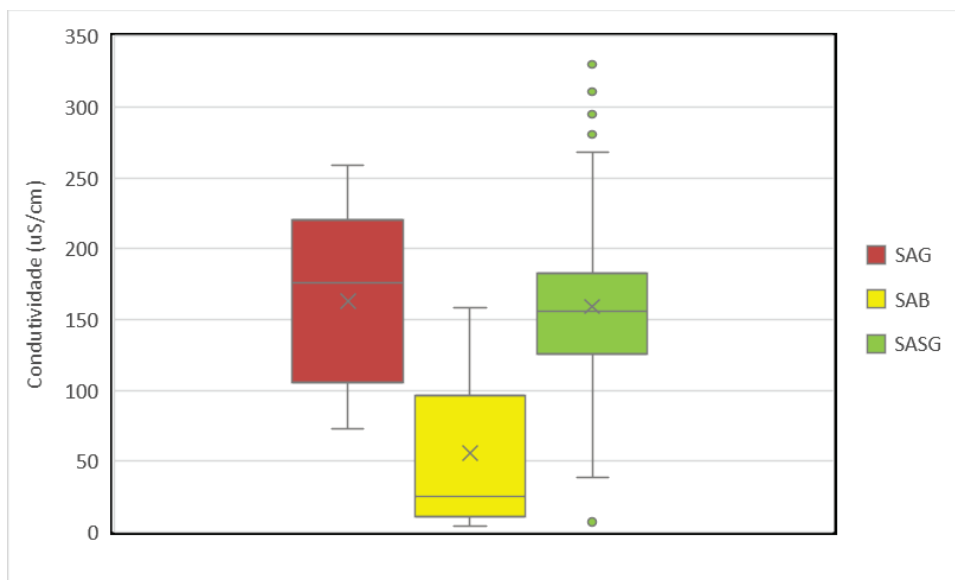


Figura 16: Valores de condutividade obtidos para os sistemas aquíferos SAB, SAG e SASG no ano de 2016

Os valores de sólidos totais dissolvidos são apresentados na figura 17

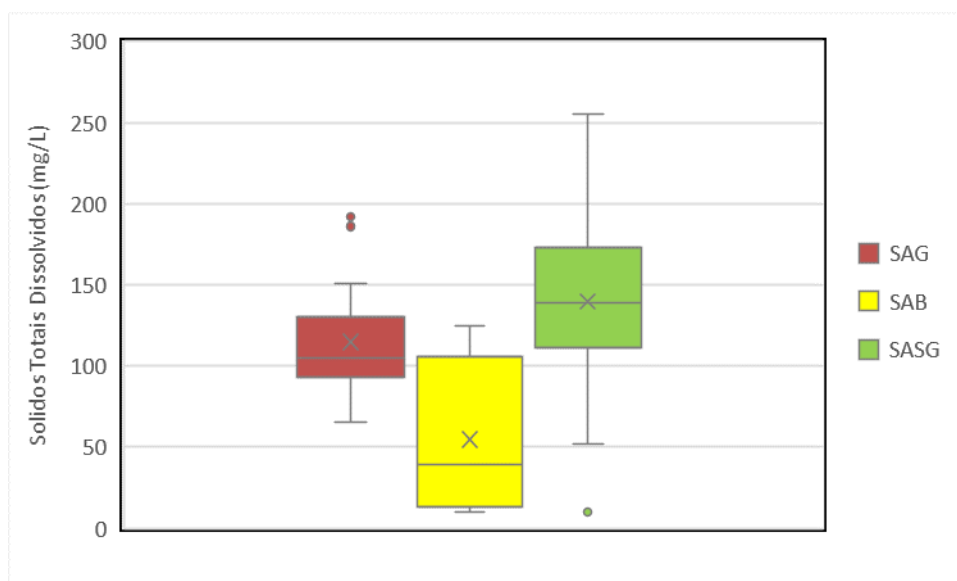


Figura 17: Valores de Sólidos Totais Dissolvidos obtidos para os sistemas aquíferos SAB, SAG e SASG no ano de 2016

### 5.3 ANÁLISE DO PARÂMETRO NITRATO NOS SISTEMAS AQUÍFEROS BAURU E SERRA GERAL

O município de Campo Grande possui três sistemas aquíferos, dos quais dois sistemas, que são considerados aquíferos livres, apresentam concentração de nitrato acima do valor máximo permitido pela Portaria 2914 do Ministério da Saúde (Brasil, 2011). Esses sistemas aquíferos são o Sistema Aquífero Bauru e Sistema Aquífero Serra Geral.

Para o SAB foram monitorados o período de 2011 a 2016 (Figura 18) e constatou-se a contaminação por nitrato em um poço no município de Campo Grande, nesse sistema aquífero. Esse poço apresenta valores de nitrato que variaram nesse período de 21 até 25 mg/ L de  $\text{N-NO}_3$ . Nos anos de 2012 e 2013 o poço estava paralisado e não foram analisadas amostras de água desse poço, por isso não foi constatada contaminação.

Pode ser percebido um aumento na parte nordeste do município que pode estar relacionada ao aumento populacional nessa região da cidade. Zhang *et al.* (2015) em seu estudo sobre a contaminação de água subterrânea por nitrato na China associou como o principal mecanismo o crescimento populacional e a ocupação urbana.



De toda forma é necessário que se acompanhe o comportamento desse parâmetro, visto que na região nordeste da cidade que antes apresentavam o parâmetro com valores inferiores a 5 mg/L hoje apresentam valores que variam de 5 a 10 mg/L. Uechi, Gabas e Lastoria (2016), propõem esse sistema aquífero como uma unidade geológica propensa à contaminações influenciadas por atividades antrópicas.

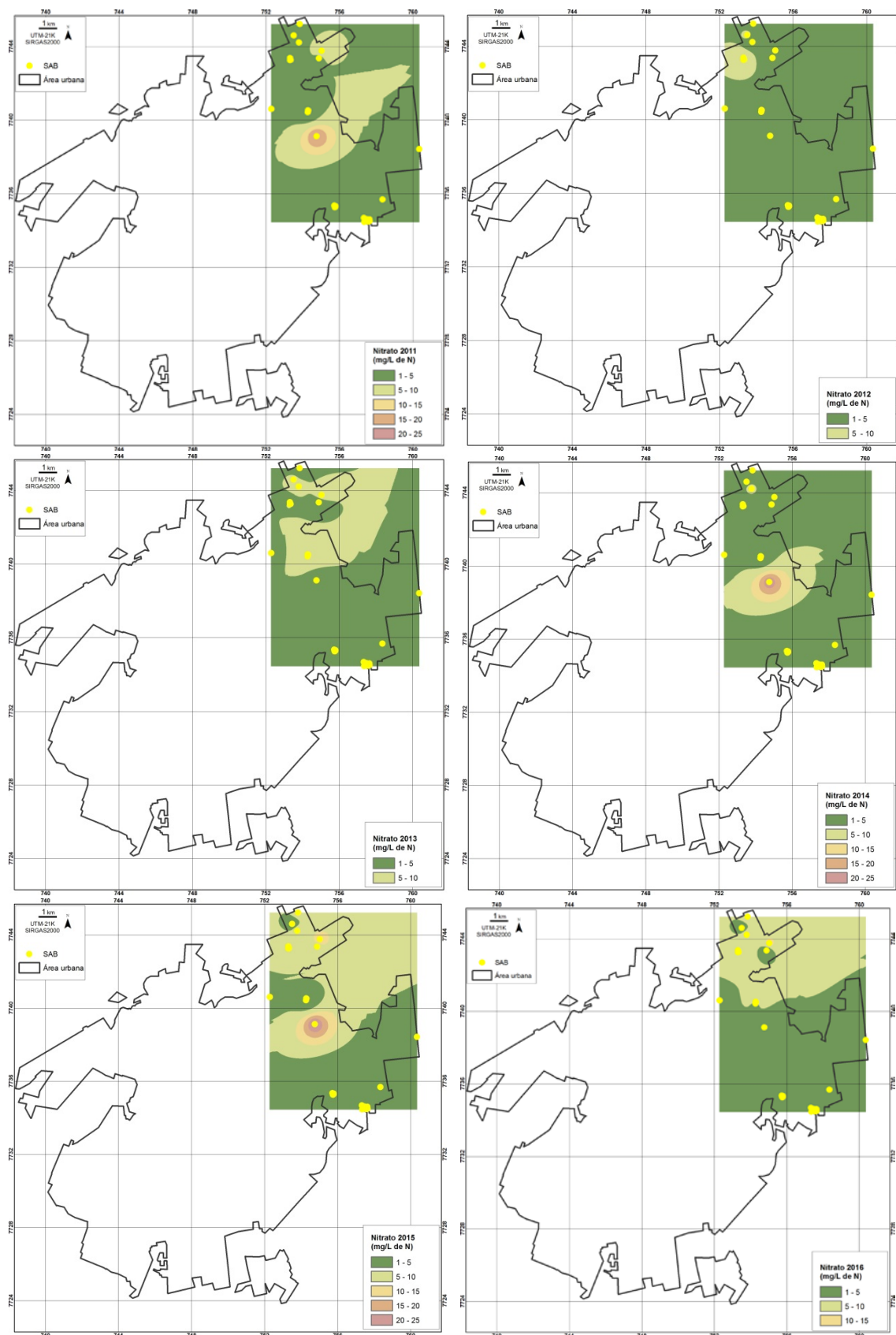


Figura 18: Mapa de monitoramento do nitrato em poços tubulares profundos do SAB, no período de 2011 a 2016.

O acompanhamento dos valores do parâmetro nitrato no intervalo de anos de 2011 a 2016 são mostrados por mapas, por meio da figura 19.

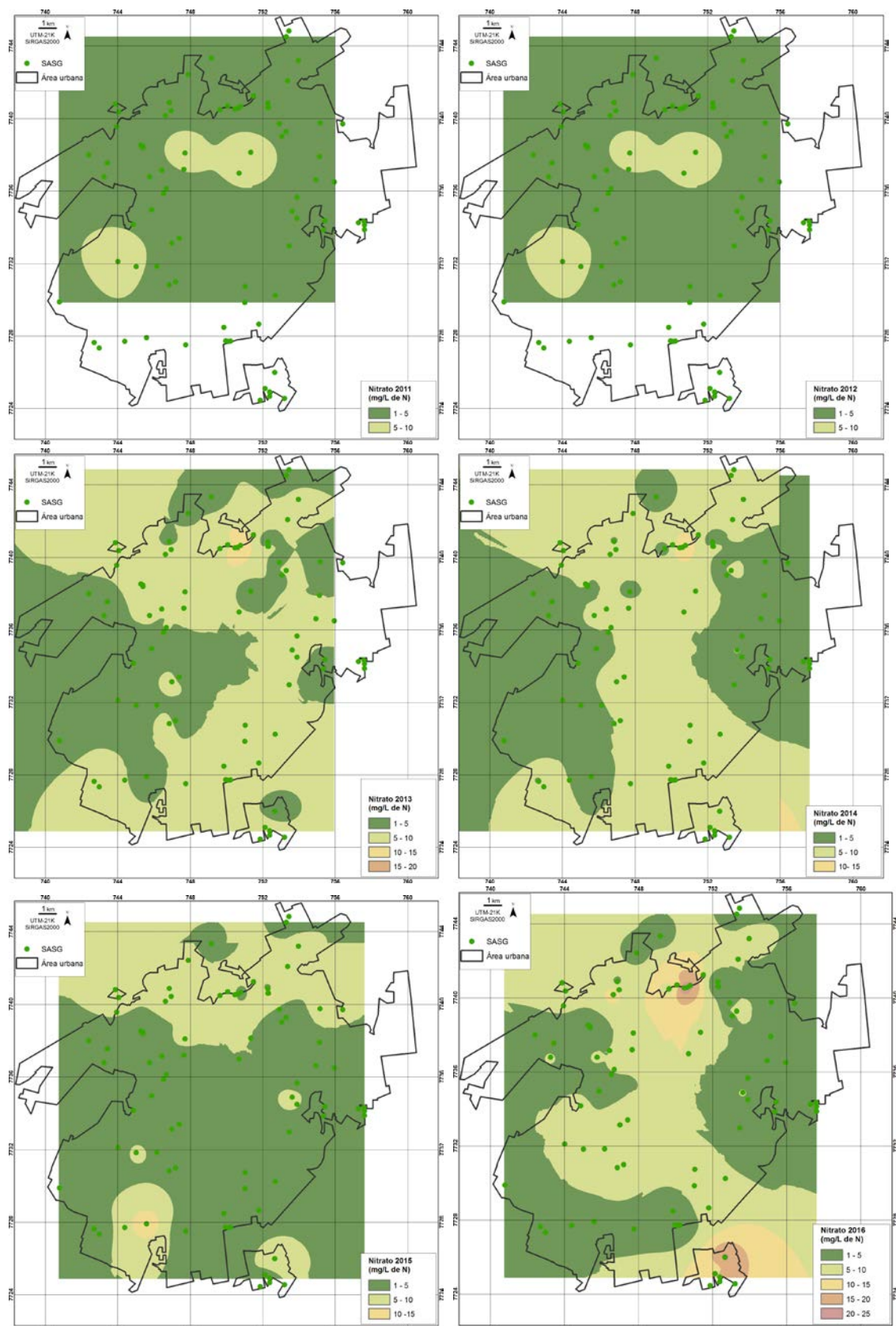


Figura 19: Mapa de monitoramento do nitrato em poços tubulares profundos do SASG, no período de 2011 a 2016

Por meio da figura 19 podemos observar duas localidades, uma a norte e uma a sudeste, contaminadas por altas concentrações do parâmetro nitrato no SASG no município de Campo Grande. A primeira apresenta um conjunto de três poços e na segunda é representado por somente um poço. Esses poços apresentam a cada ano concentrações mais elevadas do parâmetro nitrato. Esses poços encontram-se desativados, pelo valor excedente ultrapassar ao valor máximo permitido da Portaria 2914/11 (Brasil, 2011), que é de 10 mg/L (N-NO<sub>3</sub>).

Os anos de 2011, 2012 e 2015, os poços tubulares profundos das localidades que apresentam contaminação por concentrações elevadas do parâmetro nitrato não foram amostrados, visto que estavam desativados nesse período.

Quando analisa-se o mapa de concentração de valores de nitrato com a precipitação, verifica-se que nos anos 2015 e 2016 houve precipitação acima da média histórica da região. Com isso, a tendência para a concentração de nitrato seria a diluição (Stigter, Carvalho Sill e Ribeiro, 2011; Smith e Kellman, 2011). Porém, houve um aumento na concentração que pode ser explicada pela permanência do nitrato na zona não saturada do aquífero e, volumes elevados de precipitação podem facilitar a migração desse contaminante do solo (zona não saturada) para a zona saturada.

Um comparativo da análise do nitrato com a ocupação urbana foi realizado no município de Campo Grande. Nas imagens espaciais de 1984, 1994, 2004 e 2014 foram observados o aumento da área de ocupação urbana do município (Figura 20).

Os poços mais antigos do SASG estão em uma área que havia uma urbanização desde 1984, quando da recuperação dessas imagens aéreas. Pelo perfil construtivo também nota-se que o poço apresenta cimentação apenas nos 5 metros iniciais do poço, o que acaba não isolando a água superficial. O que podemos notar por meio das imagens aéreas é que na área que não tinha urbanização, parte nordeste do município de Campo Grande está apresentando análises de água que antes continham valores menores de 1 mg/L N-NO<sub>3</sub> agora apresentam valores de 1,4 mg/L N-NO<sub>3</sub>. Com isso, é necessário que se monitore frequentemente esses valores para assegurar que estas concentrações não aumentem com o decorrer dos anos.



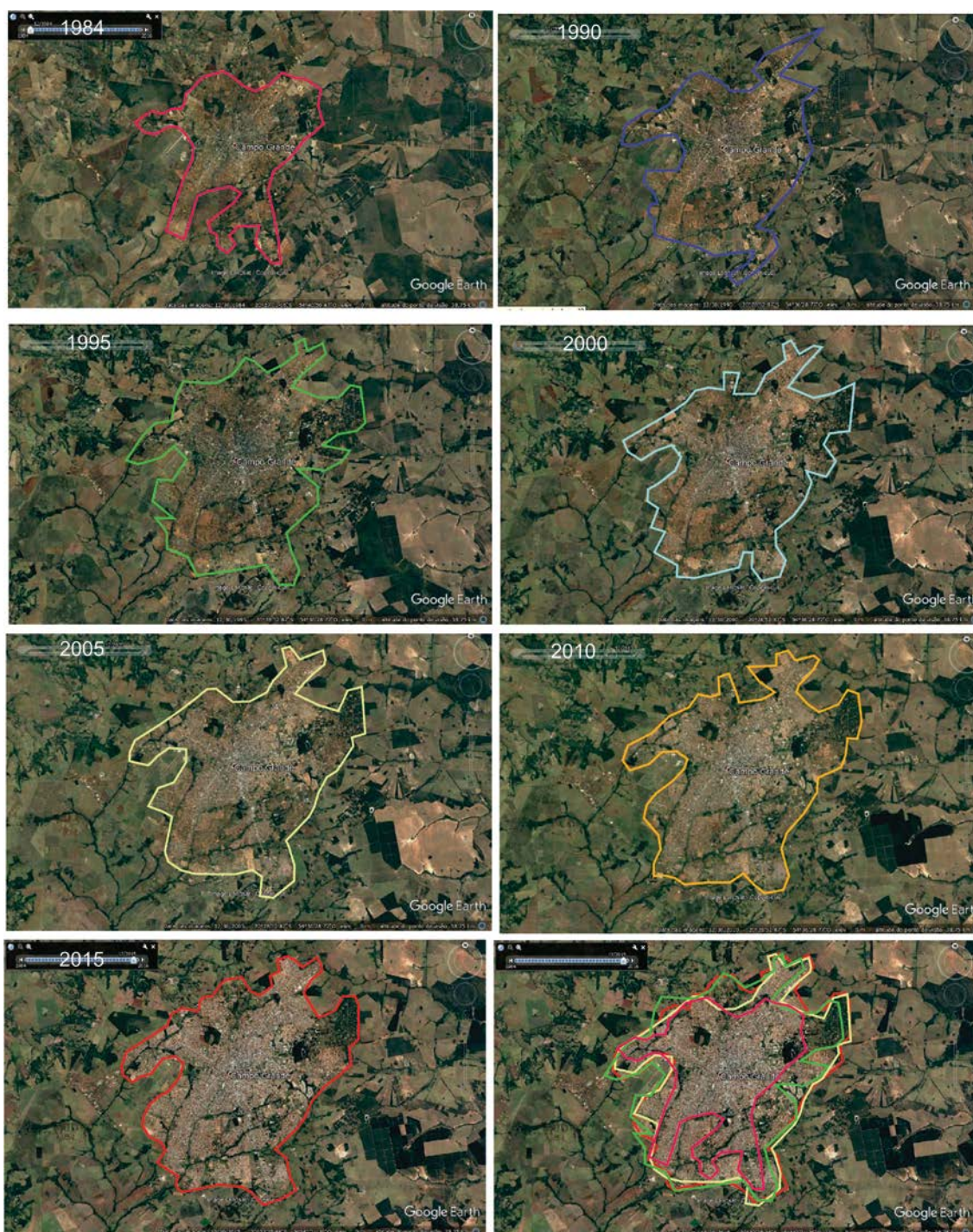


Figura 20:Imagens espaciais de ocupação da área urbana do município de Campo Grande (Google Earth).

## 6.CONCLUSÕES

O SAG é o único sistema aquífero que apresenta todos os parâmetros de análises de água estudados dentro dos valores máximos permitidos pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde. Por ser um sistema aquífero confinado na área de estudo e explotado à profundidades próximas a 250 metros esse sistema é mais protegido de efluentes antrópicos como o nitrato, sendo este fato confirmado visto que em todas as análises apresentaram valores inferiores a 1 mg/L. Para esse sistema aquífero a produtividade é classificada como muito alta, com média de capacidade específica de  $5,8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$  o que o torna uma excelente opção para a exploração no abastecimento público do município de Campo Grande. A potenciometria do sistema aquífero apresenta um rebaixamento de 34 metros no município em um intervalo de tempo de 22 anos, sendo que esses valores podem indicar um aprofundamento regional do nível estático desse sistema aquífero. Além disso, a vazão, na maioria dos poços, diminuiu com relação ao teste de bombeamento nas perfurações dos poços. Possivelmente isso ocorra por condições naturais do meio e da vida útil de operação do poços.

O SAB apresenta um rebaixamento médio de 2,5 m em 5 anos de operação desses poços. A espessura saturada média desse sistema aquífero é de 32,1 metros na perfuração e no ano de 2016 de 29,7 metros. Porém, a variação de níveis estáticos regional desse sistema aquífero chega até 2,5 metros. Com isso, não podemos afirmar que no SAB em Campo Grande há um rebaixamento de níveis devido a superexploração desse sistema aquífero. É necessário um período mais extenso de tempo para monitoramento para que se conclua essa situação de super exploração.

A vazão e a capacidade específica diminuíram em 28 dos 30 poços estudados para esse sistema, o que provavelmente foi ocasionado por um teste de bombeamento super estimado. Mesmo assim, a produtividade desse sistema aquífero é classificada como alta, com médias de  $3,7 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$ , reafirmando o potencial hidrogeológico do município.

Além disso, por ser uma unidade hidrogeológica sedimentar porosa deve-se ter um cuidado mais intensivo no monitoramento para evitar contaminações por nitrato. Poços que apresentavam valores de nitrato

inferiores a 1 mg/L (N-NO<sub>3</sub>) na perfuração, no ano de 2016 apresentaram 1.4 mg/L (N-NO<sub>3</sub>). Isso é relacionado diretamente ao aumento da ocupação urbana, sendo assim, alteração de origem antrópica.

O SASG foi o único sistema aquífero que não apresentou rebaixamentos significativos na potenciometria, fato esse confirmado pelos mapas potenciométricos apresentados na perfuração e no ano de 2016. Porém, quando se refere aos parâmetros das análises de água estudados, esse sistema aquífero apresenta a maior variação em todos os parâmetros devido a heterogeneidade dos sistemas fraturados/fissurais. Há dois pontos de captação subterrânea no município que apresentam contaminações por nitrato que possivelmente estão associadas a má vedação do selo sanitário do poço associado a presença de fossas sépticas na região. Nesses locais a entrada de água principal para a produção do poço tubular profundo é de até 25 metros de profundidade.

Para esses poços do SASG uma opção para reabilitação seria a vedação sanitária da parte superficial do poço no mínimo de 20 metros. Com isso, isolaria-se a parte superior com águas contaminadas com nitrato. Porém, essa alternativa provavelmente diminuiria a produção do poço, visto que a principal entrada de água é nessa parte superior.

Com a ausência de saneamento básico no município de Campo Grande por anos (atualmente a coleta e tratamento de esgoto engloba 85% do município), a contaminação antrópica por fossas sépticas é uma realidade. Os níveis estáticos dos poços tubulares profundos que apresentam contaminações por nitrato são rasos, sendo de até 25 metros de profundidade. Com isso, conclui-se que a contaminação do parâmetro nitrato em análises de água é de origem antrópica.

A produtividade do SASG é classificada como moderada considerando a vazão média de 27 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. Os poços desse sistema aquífero possuem entradas de água predominantemente a profundidades inferiores a 100 metros de profundidades.

Com isso, podemos classificar o município de Campo Grande como um município com alto potencial subterrâneo para abastecimento público, com vazões de até 300 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, uma excelente opção como alternativa para o abastecimento superficial. A implicação que deve ser observada para a gestão

dos sistemas aquíferos nesse município é a ocorrência e contaminação por nitrato, os rebaixamentos potenciométricos e os índices pluviométricos para a análise de aquíferos livres.

Para trabalhos futuros, tanto no município de Campo Grande quanto no estado do Mato Grosso do Sul é necessário que se supra a deficiência do conhecimento da estratigrafia do Grupo Caiuá, Bacia Bauru nesse estado. Além disso, para o município de Campo Grande sugere-se que se realize uma avaliação dos poços que captam água de dois sistemas aquíferos simultaneamente, tanto do SAB-SASG quanto do SASG-SAG. Alguns poços que foram excluídos dessa pesquisa do SASG foram perfurados por toda a camada da Formação Serra Geral passando o topo da Formação Botucatu. Quando chega nessa formação, perfura-se mais alguns metros, de 5 a 10 metros adentrando do SAG.

Além disso é necessário que se realize um estudo para o mapeamento das ocorrências das plumas de contaminação do nitrato que elucide sua concentração associada ao aumento da população, à expansão da área urbana e sua relação com os índices pluviométricos.



## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, H. R.; OLIVEIRA, J. E. C. 1999. A importância das Águas Subterrâneas. Revista ABASTECE, nº4, out/nov/dez.
- ARAÚJO, L. M.; FRANÇA, A. B.; POTER, P. E. 1995 – Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai; Mapas Hidrogeológicos das Formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacaurémbo. Mapas, UFPR PETROBRÁS, Curitiba, Texto Explicativo, 16p,.
- BAIRD, R. B. ; CLESCERI, A. D. 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22<sup>a</sup> nd., Editora Pharmabooks.
- BATEZELLI, A. 2010. Arcabouço tectono-estratigráfico e evolução das Bacias Caiuá e Bauru no sudeste brasileiro. Revista Brasileira de Geociências, v. 40, n. 2, p. 265-285.
- BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. da. 2011. A integração das águas: revelando o verdadeiro Aquífero Guarani. Curitiba: Ed. da autora, 276 p.
- BRASIL. 1988. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado,
- BRASIL. 1997. Lei Federal n. 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Brasília-DF: Assembléia Legislativa.
- BRASIL. 2008. Resolução CONAMA nº 396, 03 de Abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências., Brasília, DF, Publicada no DOU nº 66, de 7 de abril de 2008, Seção 1, páginas 64-68.
- BRASIL. 2011. Ministério da Saúde. Portaria n.º 2.914, de 12 de Dezembro de 2011. Dispõe sobre normas de potabilidade de água para o consumo humano. Brasília.
- CAMPOS, H.C.N.S. 2004 Águas subterrâneas na Bacia do Paraná. Geosul, v. 19, n. 37, p. 47-65.
- CAGNON, F.; HIRATA, R. 2004. Source of nitrate in the groundwater of Adamantina Aquifer in Urania, SP – Brazil. *In*: IAH,INTERNATIONAL ASSOCIATION OF HYDROGEOLOGIST CONGRESS, 33, Zacatecas, 7 p.
- CELLIGOI, A. 2000. Hidrogeologia da Formação Caiuá no Estado do Paraná. 2000. Tese de Doutorado Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. São Paulo, 95 p.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 2006 Mapa Geológico do Mato Grosso do Sul,. Brasília, escala 1:1.000.000.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 2012. Relatório diagnóstico. Sistema aquífero Bauru-Caiuá nos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná. Belo Horizonte.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 2014. Mapa Hidrogeológico do Brasil, Brasília. escala 1:5.000.000

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS). Disponível em <[http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar\\_mapa.php](http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php)>. Acesso em 23 de março de 2017.

CEMTEC - Centro de Monitoramento de Tempo, do Clima e dos Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul  
[http://www.cemtec.ms.gov.br/wpcontent/uploads/sites/72/2016/03/Chuvas\\_CampoGrandeMS\\_HIST%C3%93RICO.pdf](http://www.cemtec.ms.gov.br/wpcontent/uploads/sites/72/2016/03/Chuvas_CampoGrandeMS_HIST%C3%93RICO.pdf), Acessado em 14 de fevereiro de 2017.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. 1983. Hidrología Subterránea. 2da. Edición, Ediciones Omega, S. A., Barcelona, 1983, pag 1011.

FEITOSA. F.A.C.; MANOEL FILHO, J. (Coordenado por) 2000 Hidrogeologia – Conceitos a aplicação. 2a Edição, CPRM, 2000, Brasil.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. 1992. A cobertura cretácea suprabasáltica no Estado do Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37, 1992, São Paulo. Sociedade Brasileira de Geologia. 2: 506-508 p.

FERNANDES, L.A. 1992. A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá. Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 129 p.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. 1996. A Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil). Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 68, n. 2, p. 195-205.

FERNANDES, L. A. 1998. Estratigrafia e evolução geológica da parte Oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil). Tese de Doutorado - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 216 p.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. Revisão estratigráfica da parte Oriental da Bacia Bauru (Neo-Cretáceo). **Revista Brasileira de Geociências** v. 30, n. 4, p. 717-728. 2000.

FITTS, C. R. 2015. Águas Subterrâneas. Academic Press, Elsevier. 577 p.

FÚLFARO, V. J.; PERINOTTO, J. A. J. 1996. A Bacia Bauru: Estado da Arte. 4 Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista: 297-303 p.

GASTMANS, D. 2007 Hidrogeologia e Hidroquímica do Sistema Aquífero Guarani na Porção Ocidental da Bacia Sedimentar do Paraná, Tese de doutorado - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 193 p.

GASTMANS, D.; CHANG, H.K.; HUTCHEON, I. 2010. Stable isotopes (2H, 18O and 13C) in groundwaters from the northwestern portion of the Guarani Aquifer System (Brazil) Hydrogeology Journal (2010) 18: 1497–1513.

HINDI, E.C. 2007. Hidroquímica e hidrotermalismo do Sistema Aquífero Guarani no Estado do Paraná. Tese de Doutorado em Geologia Ambiental Departamento de Geologia. Universidade Federal do Paraná. 153p.

HIRATA, R.; UCCI, M. S.; WAHNFRIEND, I.; VIVIVANI-LIMA, J. B. 2012 Exploração do Sistema Aquífero Guarani em Araraquara. Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, v. 12, n. 2, p. 11-127.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA–IBGE. 2010. Censo demográfico 2010 – Estados. Brasília Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/>> Acesso em: 14 fevereiro 2017.

JOHNSON, E. E. 1972. Ground water and wells. Saint Paul, Minnesota 482 p.

LASTORIA, G. 2002. Hidrogeologia da Formação Serra Geral no Estado de Mato Grosso do Sul. Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente. Instituto de Geociências e Ciências Exatas – IGCE – UNESP – Rio Claro, 133 p.

LASTORIA, G.; SINELLI, O.; CHANG, H. K.; HUTCHEON, I.; PARANHOS FILHO, A. C.; GASTMANS, D. 2006. Hidrogeologia da Formação Serra Geral no Estado de Mato Grosso do Sul. Águas Subterrâneas, v.20, n.1, p.139-150.

LOURENCETTI, J.; PRATES, M. M.; OLIVEIRA, J. N. 2012. Rebaixamento do aquífero Bauru em São José do Rio Preto. IN: XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, Bonito, MS

MANOEL FILHO, J. 2008. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. Evolução Histórica do conhecimento, páginas 5-12.

MENEGAZZO, M.C. 2016. Sedimentação da Bacia Bauru: cenário tectônico, idade dos depósitos e ambientes paleodeposicionais. Tese de Doutorado - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 292 p.

MENEGAZZO, M. C.; CATUNEANU, O.; CHANG, H. K. 2016. The South American retroarc foreland system: The development of the Bauru Basin in the back-bulge province. Marine and Petroleum Geology, n. 73, p. 131-156.

MILANI, E. J.; MELO, J. H. G.; SOUZA, P. A.; FERNANDES, L. A.; FRANÇA, A. B. B. 2007. Bacia do Paraná. Boletim de Geociências da Petrobras, v. 15, n. 2, p. 265-287.

MILANI, E. J.; MELO, J. H. G.; SOUZA, P. A.; FERNANDES, L. A.; FRANÇA, A. B. B. 2007. Bacias Sedimentares Brasileiras - Cartas Estratigráficas. Boletim de Geociências da Petrobras, v. 15, n. 2, p. Anexo

PLANURB- Instituto Municipal de Planejamento Urbano 2016- Perfil Socioeconômico de Campo Grande/Instituto Municipal de Planejamento Urbano - PLANURB. 23. ed. rev. Campo Grande, 1. Campo Grande (MS) I.Título. Acessado em 20 de novembro de 2017

RICCOMINI, C. 1997. Arcabouço estrutural e aspectos do tectonismo gerador e deformador da Bacia Bauru no Estado de São Paulo. Revista Brasileira de Geociências, v. 27, n. 2, p. 153-162.

ROSA FILHO, E. F. 1982 Uma análise sobre a produtividade dos poços tubulares no aquífero Caiuá – região noroeste do estado do Paraná. Dissertação de mestrado, Centro de Tecnologia - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 1982.

SANTOS, A C. 2000 - Noções de Hidroquímica. In: Feitosa, C. A. F. & Filho, J. M. Hidrogeologia Conceitos e Aplicações. Fortaleza. CPRM cap. 5, p.81-108, 2a ed.

SEMAC. Secretaria de Estado de Meio Ambiente, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia e Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul. 2010 Plano estadual de recursos hídricos de Mato Grosso do Sul. Campo Grande: Editora UEMS. 194p.

SMITH, E. T.; KELLMAN, L.M; 2011. Examination of nitrate concentration, loading and isotope dynamics in subsurface drainage under standard agricultural cropping in Atlantic Canada Journal of Environmental Management 92 (2011) 2892-2899

STIGTER, T. Y.; CARVALHO DILL, A. M. M.; RIBEIRO, L. 2011.Major Issues Regarding the Efficiency of Monitoring Programs for Nitrate Contaminated Groundwater. Environment Science and Technologyc, 45, 8674–8682,

TAHAL Consulting Engineers LTDA e Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul SANESUL 1998. Estudos Hidrogeológicos de Mato Grosso do Sul. Relatório Final, Campo Grande, mapas V.I e II, 736p.

TCACENCO-MANZANO, L. M., ATHAYDE, C. V. M., MANTOVANI, L. E.; ROSA FILHO, E. F. da, 2016 A importância do monitoramento de águas subterrâneas no abastecimento público de água: município de Campo Grande, MS. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 19, 2016, Campinas, SP. Anais. Disponível em doi>:[10.14295/ras.v0i0.28732](https://doi.org/10.14295/ras.v0i0.28732)

TOLMAN, C. F. 1937. Ground water. New York: McGraw Hill. 593 p.

UECHI, D. A., GABAS, S. G., LASTORIA, G. 2017 Análise de Metais pesados no sistema aquífero Bauru em Mato Grosso do Sul. Eng San Amb v22, n1 jan/fev 2017 155-167 Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v22n1/1809-4457-esa-S141341522016142430.pdf>>. Acesso em: 10 março 2017.

VARNIER, C.L.; IRITANI, M. A.; VIOTTI, M.; ODA, G. I.; FERREIRA, L. M. R.; 2010. Nitrato nas águas subterrâneas do sistem aquífero Bauru, área urbana do município de Marília (SP). Revista do Instituto Geológico, São Paulo, 31, (1/2).

WHEELER, D. C.; NOLAN, B. T.; FLORY, A. R.; DELLAVALLE, C. T.; WARD, M. H. 2015. Modeling groundwater nitrate concentrations in private wells in Iowa. Science of the Total Environment 536 (2015) 481–488.

WICK, K.; HEUMESSER, C. SCHMID, E. 2012. Groundwater nitrate contamination: Factors and indicators. Journal of Environmental Management 111 (2012) 178-186.

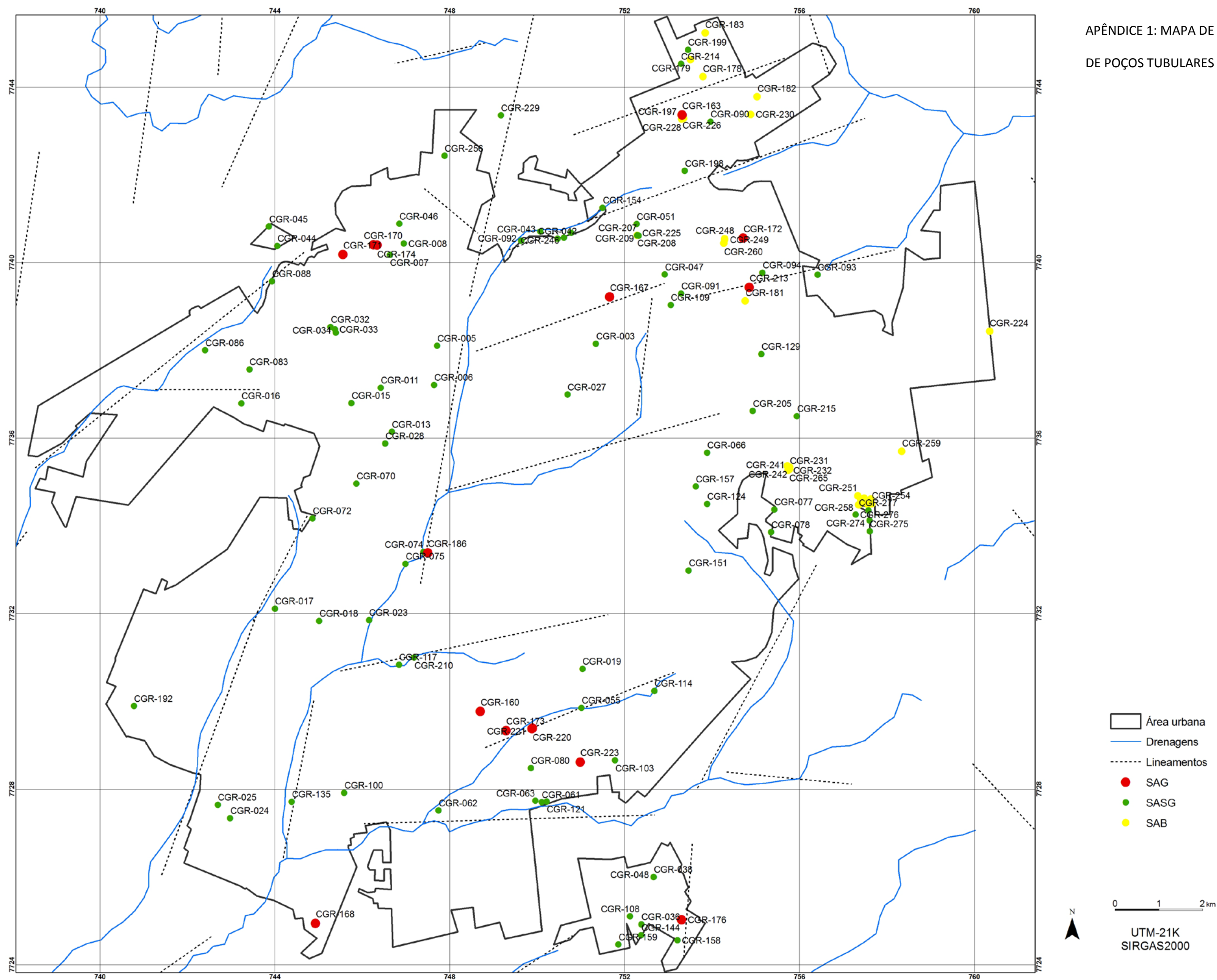
ZHANG, Q.; SUN, J.; LIU, J.; HUANG, G.; LU, C.; ZHANG, Y. 2015. Driving mechanism and sources of groundwater nitrate contamination in the rapidly urbanized region of south China. Journal of Contaminant Hydrology 182 (2015) 221–230

[http://www.cemtec.ms.gov.br/wpcontent/uploads/sites/72/2016/03/Chuvas\\_CampoGrandeMS\\_HIST%C3%93RICO.pdf](http://www.cemtec.ms.gov.br/wpcontent/uploads/sites/72/2016/03/Chuvas_CampoGrandeMS_HIST%C3%93RICO.pdf), acesso em 14/02/17

<http://rimasweb.cprm.gov.br>, acesso em 22/12/17

[http://www.abas.org/estudos\\_termos.php](http://www.abas.org/estudos_termos.php), acesso em 18/09/2017

APÊNDICE 1: MAPA DE LOCALIZAÇÃO  
DE POÇOS TUBULARES PROFUNDOS



**APÊNDICE 2: POÇOS DO SAG COM MEDIÇÕES DE NÍVEIS ESTÁTICOS  
NOS ÚLTIMOS 5 ANOS COMPARADOS À MEDIÇÃO NA DATA DA  
PERFURAÇÃO**

Poço	Cota (m)	Topo Fm. Botucatu (m)	Espessura Aquífero (m)	Profundidade do poço (m)	Ne perfuração (m)	Ne atual 2016 (m)	Ne 2010 (m)	Ne 2011 (m)	Ne 2012 (m)	Ne 2013 (m)	Ne 2014 (m)	Ne 2015 (m)
CGR-160	544	382	250	412	106	138	135	137	138	138	136	137
CGR-163	695	327	286	654	265	302	294	300	305	302	s/m	302
CGR-167	655	405	230	480	206	<b>232*</b>	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m
CGR-168	514	264	305	555	57	83	s/m	80	86	93	s/m	79
CGR-170	626	204	208	630	194	265	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m
CGR-171	601	385	216	606	170	213	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m	213
CGR-172	660	270	210	600	170	265	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m
CGR-173	544	318	300	526	101	124	119	122	124	120	118	119
CGR-174	626	240	320	606	180	190	159	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m
CGR-176	594	308	236	501	92	156	s/m	s/m	s/m	154	153	154
CGR-186	514	234	245	525	96	111	81	125	124	90	110	108
CGR-213	670	330	305	625	262	209	s/m	s/m	210	210	208	209
CGR-220	520	380	160	280	118	118	s/m	s/m	s/m	117	s/m	s/m
CGR-221	524	384	160	280	118	119	s/m	s/m	s/m	s/m	119	s/m
CGR-223	572	404	94	262	150	150	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m

\*O poço está sem funcionamento a 8 anos devido ao alto custo da água produzida por ele. Assim, o nível é representante real do sistema aquífero SAG, no local.

\* os poços s/m não apresentaram medições nesse período.

**APÊNDICE 3 - TABELA DE DADOS DE NÍVEIS ESTÁTICOS DO SAB NOS ANOS DE 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 E 2016, PARA OS 30 POÇOS TUBULARES PROFUNDOS**

POÇOS	Nível estático na perfuração (m)	Nível estático atual (m) (2016)	Ne 2010 (m)	Ne 2011 (m)	Ne 2012 (m)	Ne 2013 (m)	Ne 2014 (m)	Ne 2015 (m)
CGR-119	11	11	12	9,5	19	12	11	12
CGR-178	20	22	22,5	22	22,2	21	21	22
CGR-179	21	21	21	20	23	22	22	22
CGR-181	36	25	entupido					
CGR-182	18	11	18	18	11	10	9	10
CGR-193	5	5,5	8,5	9	9	9	9	8
CGR-197	46	46	46	48	46	49,4	44	48,3
CGR-224	74	70,6	74	73	70	70,6	70	69
CGR-225	73	70	75	75	70	70	71,8	68
CGR-226	42	48	n/per f	50	48	49	49	49
CGR-227	47	48	n/per f	50	48,5	48	49,5	49,5
CGR-228	46,7	48	entupido					
CGR-230	11	17,7	n/per f	16	18	16,5	18,5	17
CGR-231	21	31,7	n/per f	26	26,5	26	29	29
CGR-232	21,8	35	n/per f	25,5	21	desmoronado		
CGR-241	25,8	30	n/per f	24,5	27,5	26	28	30
CGR-242	24,5	29	n/per f	25	26	26,5	27	29
CGR-248	48,8	53	n/per f	51	53	55,8	48,5	48
CGR-249	48	53	n/per f	52,8	54	55,3	47,5	47
CGR-250	42	56	n/per f	42	46	50	s/m	s/m
CGR-251	44,7	49,5	n/per f	níveis não são representativos. As medições nesses anos foram realizadas com outros poços em mesma área bombeando				
CGR-252	47	58	n/per f					
CGR-253	51	57,3	n/per f					
CGR-254	55,4	58	n/per f					
CGR-255	53,5	59	n/per f					



POÇOS	Nível estático na perfuração (m)	Nível estático atual (m) (2016)	Ne 2010 (m)	Ne 2011 (m)	Ne 2012 (m)	Ne 2013 (m)	Ne 2014 (m)	Ne 2015 (m)
CGR-257	53,5	55	n/perf					
CGR-258	44,9	53	n/perf					
CGR-259	31,5	34	n/perf	31,5	34	31	30	s/m
CGR-260	51,5	53	n/perf	51,5	54,5	57	53	54
CGR-265	23	32	n/perf	n/perf	n/perf	23,6	28	28,5

n/perf: o poço não havia sido perfurado.

**APÊNDICE 4 - 85 POÇOS DO SASG COM MEDIÇÕES DE NÍVEIS  
ESTÁTICOS NOS ÚLTIMOS 5 ANOS E COMPARADOS À MEDIÇÃO NA  
DATA DA PERFURAÇÃO**

POÇOS	COTA	Ne perfuração (m)	Ne atual (2016) (m)	Ne 2010 (m)	Ne 2011 (m)	Ne 2012 (m)	Ne 2013 (m)	Ne 2014 (m)	Ne 2015 (m)
<b>CGR-003</b>	448 m	7	11,8	11	11	12	12	12	12
<b>CGR-005</b>	560 m	12,8	24	22	20	20	23	24	24
<b>CGR-006</b>	550 m	12	13	15,5	11,5	14	16	16	13
<b>CGR-007</b>	625 m	18	41	20	20	19,5	23	42	40
<b>CGR-008</b>	626 m	17	20	21	15,5	19	20	18,7	21
<b>CGR-011</b>	582 m	14	13	18	17	18	19	14	13,5
<b>CGR-013</b>	577 m	12,7	14	14	13,5	15	14	14	14
<b>CGR-015</b>	575 m	4,5	10	6	11	8,5	9	9,5	9,5
<b>CGR-016</b>	550 m	2	6	3	4,5	6	6	6	4
<b>CGR-017</b>	527m	6,3	10	10	12	10	14	13	10
<b>CGR-018</b>	529 m	13,7	21	18	21	24	27	27	19
<b>CGR-019</b>	583 m	12,7	12	14	11,5	14	11	12	12
<b>CGR-023</b>	527 m	6,5	9	10	11	9	10	8,5	9
<b>CGR-024</b>	523 m	30	76	75,5	68,5	66	71	64	73
<b>CGR-025</b>	520 m	9,3	14	13	13	15	11,7	16	16
<b>CGR-027</b>	607 m	21	16	16	17,5	16	4	17,4	16,7
<b>CGR-028</b>	570 m	10	11	8	9	11,5	10	10	9,5
<b>CGR-032</b>	597 m	16	23	12	19	20	26	20	22,5
<b>CGR-033</b>	600 m	15	19	18	18	22	19,5	21	19,5
<b>CGR-034</b>	597m	13	21	16	17	24	21	22	22
<b>CGR-036</b>	583 m	14,5	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m
<b>CGR-038</b>	680 m	18	28	27	27	28	27	26	25
<b>CGR-041</b>	590 m	4,6	10	4	7	7,4	11	10	10
<b>CGR-042</b>	585 m	5,3	25	s/m	7	11,5	10	9	10,5
<b>CGR-043</b>	592 m	5	14	10	11	14	15	13	13
<b>CGR-044</b>	575 m	12	13	12	11,8	13,5	13	13	12,3
<b>CGR-045</b>	577 m	13	14	s/m		13	15	14	12,4
<b>CGR-046</b>	630 m	21	21	28	21	26	26	22	23,3
<b>CGR-047</b>	660 m	13	20	29	28,5	23	23	20	22
<b>CGR-048</b>	680 m	18	28	32,5	28	25,5	28	25	28
<b>CGR-051</b>	651m	8,6	18	21	17	17	18	17	19
<b>CGR-055</b>	560 m	(+) 3,5	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m
<b>CGR-061</b>	523 m	5,3	10	4	4	4,3	5,5	6	4,5
<b>CGR-062</b>	520 m	2,9	6	7	8	9,5	9	7,5	8
<b>CGR-063</b>	570 m	29	80	72,5	80	80	79,5	80	80
<b>CGR-066</b>	640 m	12	15	17	s/m	18	14	14	19
<b>CGR-070</b>	565 m	10,6	21	13,5	17,5	17,5	20,5	18	14

Continua

POÇOS	COTA	Ne perfuração (m)	Ne atual (2016) (m)	Ne 2010 (m)	Ne 2011 (m)	Ne 2012 (m)	Ne 2013 (m)	Ne 2014 (m)	Ne 2015 (m)
<b>CGR-072</b>	540 m	4	5	7	6	7	9	6	6
<b>CGR-074</b>	515 m	5,5	8	8	8	8	8,2	10	6
<b>CGR-075</b>	510 m	(+) 0,6	6	3	5	7	6	6	2
<b>CGR-077</b>	620 m	1	12	2	1,5	2,5	2	3	12
<b>CGR-078</b>	618 m	6	7	6	6	11	5	9	13
<b>CGR-080</b>	547 m	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m
<b>CGR-083</b>	560 m	1	5	7	6	3	3,3	6	4
<b>CGR-086</b>	538 m	13	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m
<b>CGR-088</b>	557 m	3	5	4	5	5	6	6	7
<b>CGR-089</b>	541 m	9,3	23	28	27	27	23	27	23
<b>CGR-090</b>	685 m	38	39	40	40	40	40,5	32,5	39
<b>CGR-091</b>	655 m	14	20	19	19	19,5	19	20	20
<b>CGR-092</b>	667 m	2,5	4	7,5	5	6,5	4	4,5	4
<b>CGR-093</b>	625 m	2	9	7	10,5	7	10	4	10
<b>CGR-094</b>	660 m	13	25		25	22	23	24	24,8
<b>CGR-100</b>	523 m	30	42	35	45	42	46	46	46,4
<b>CGR-103</b>	560 m	5	5	12	4	6	5	5	5
<b>CGR-108</b>	573 m	13	11	12	15	13	12	14,9	15
<b>CGR-109</b>	646 m	12,5	14	17	12	13,5	12	16	14
<b>CGR-114</b>	600m	18,2	21	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m
<b>CGR-117</b>	515 m	1,2	8	16	10	16	8	9	8
<b>CGR-121</b>	520 m	5	5	6	5	5	5	6	5,6
<b>CGR-124</b>	618 m	5,9	3	7	5	9	6	3,5	5
<b>CGR-129</b>	597 m	1,7	3		5	2,5	3	3	2,5
<b>CGR-135</b>	490 m	38	60	61	60	43	62,4	54,5	62
<b>CGR-144</b>	585 m	1,5	2	3	3	4	4	2,2	2,8
<b>CGR-151</b>	615 m	17	18	21	17	16	17	16	19,5
<b>CGR-154</b>	610 m	6	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m
<b>CGR-157</b>	616 m	18	9	10,5	9,5	10	9	5	8,5
<b>CGR-158</b>	590 m	5	5	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m
<b>CGR-159</b>	563 m	15	18		17	17	16	17,6	17,6
<b>CGR-192</b>	515 m	2,8	16	17	14	13	18,3	13	18
<b>CGR-198</b>	677m	33	33,5	32	31	33,5	32,5	33	33,5
<b>CGR-199</b>	670 m	25	18	19,5	19	21	22,5	19	21
<b>CGR-205</b>	643 m	10	8	s/m	s/m	8	9	8	9
<b>CGR-207</b>	656 m	16	20	25	17	18,8	19,5	20,7	20
<b>CGR-208</b>	656 m	22	10	22	15,5	17,2	18	18,5	18
<b>CGR-209</b>	608 m	12	15	12	14,5	15	14,5	15	14,3
<b>CGR-210</b>	518 m	2	2	2,5	2	3	3	4,5	4
<b>CGR-214</b>	677 m	25	30	25	28	28,7	28	28,5	29,14
<b>CGR-215</b>	659 m	31	23	25	23	25	24,7	24	23

continua

POÇOS	COTA	Ne perfuração (m)	Ne atual (2016) (m)	Ne 2010 (m)	Ne 2011 (m)	Ne 2012 (m)	Ne 2013 (m)	Ne 2014 (m)	Ne 2015 (m)
<b>CGR-229</b>	645 m	7	9	8	9	8	9	10	8
<b>CGR-246</b>	592 m	7	8	n/perf	11,5	10	10	10	11
<b>CGR-256</b>	641 m	6	4,5	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m
<b>CGR-274</b>	671 m	42	42	n/perf	n/perf	n/perf	n/perf	n/perf	s/m
<b>CGR-275</b>	663 m	40	40	n/perf	n/perf	n/perf	n/perf	n/perf	s/m
<b>CGR-276</b>	670 m	42	42	n/perf	n/perf	n/perf	n/perf	n/perf	
<b>CGR-277</b>	676 m	54	54	n/perf	n/perf	n/perf	n/perf	n/perf	

## APÊNDICE 5 - VAZÕES DO SAB NO TESTE DE BOMBEAMENTO E EXPLOTADAS ATUALMENTE

Poços	Q perfuração (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	Q atual (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	Poços	Q perfuração (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	Q atual (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )
CGR-119	27	24	CGR-241	37	18
CGR-178	25	24	CGR-242	48	32
CGR-179	12	10	CGR-248	50	23
CGR-181	17	13	CGR-249	40	28
CGR-182	22	16	CGR-250	81	39
CGR-193	14	27	CGR-251	89	28
CGR-197	20	18	CGR-252	77	22
CGR-224	21	22	CGR-253	54	20
CGR-225	27	24	CGR-254	51	27
CGR-226	18	23	CGR-255	55	38
CGR-227	42	26	CGR-257	70	24
CGR-228	17	14	CGR-258	120	68
CGR-230	11	12	CGR-259	58	44
CGR-231	42	12	CGR-260	38	34
CGR-232	42	25	CGR-265	30	19

**APÊNDICE 6: TABELA DE VAZÕES DO SAG NO TESTE DE  
BOMBEAMENTO E EXPLOTADAS ATUALMENTE**

Poços	Q perfuração (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	Q atual (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	Poços	Q perfuração (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	Q atual (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )
CGR-160	300	315	CGR-174	250	-
CGR-163	159	128	CGR-176	291	187
CGR-167	113	-	CGR-186	130	57
CGR-168	370	385	CGR-213	228	196
CGR-170	210	220	CGR-220	108	108
CGR-171	300	130	CGR-221	96	73
CGR-172	270	195	CGR-223	73	48
CGR-173	330	240			

**APÊNDICE 7 - VAZÕES DO SASG NO TESTE DE BOMBEAMENTO E  
EXPLOTADAS EM 2016 E PROFUNDIDADES DE ENTRADA DE ÁGUA**

Poços	Cota (m)	Entrada de água (m) (1)	Entrada de água (m) (2)	Entrada de água (m) (3)	Vazão de perfuração (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	Vazão de operação (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )
CGR-003	448	398			28	12
CGR-005	560	488			25	36
CGR-006	550	517			20	42
CGR-007	625	583			22	7
CGR-008	626	591			30	12
CGR-011	582	557			20	8
CGR-013	577	497			27	34
CGR-015	575	550			25	15
CGR-016	550	540			22	25
CGR-017	527	515			34	21
CGR-018	529	514			34	39
CGR-019	583	550	490	473	35	45
CGR-023	527				22	
CGR-024	523	460			18	5
CGR-025	520	490			56	44
CGR-027	607				5	18
CGR-028	570				22	39
CGR-032	597	577			35	15
CGR-033	600	575			25	20
CGR-034	597	550			33	25
CGR-036	583				34	12
CGR-038	575	540			16	17
CGR-041	590				19	24
CGR-042	585	570			112	50
CGR-043	592	580			21	25
CGR-044	575	560	530		102	63
CGR-045	577	550			45	
CGR-046	630		585		16	10
CGR-047	660				39	14
CGR-048	680	580			18	11
CGR-051	651	580			15	28
CGR-055	560	510			24	
CGR-061	523	490	470		34	20
CGR-062	520	490			48	33
CGR-063	570	480			14	8
CGR-066	640	600			29	9

CONTINUA

Poços	Cota (m)	Entrada de água (m) (1)	Entrada de água (m) (2)	Entrada de água (m) (3)	Vazão de perfuração (m³ h⁻¹)	Vazão de operação (m³ h⁻¹)
CGR-070	565	530	520		46	44
CGR-072	540	520	490		29	20
CGR-074	515	485			37	20
CGR-075	510	460			130	63
CGR-077	620	570			17	35
CGR-078	618					29
CGR-080	547	507			14	
CGR-083	560				33	33
CGR-086	538	500			18	
CGR-088	557	520	480		36	28
CGR-089	541	495			34	14
CGR-090	685	620	595		36	30
CGR-091	655	605			36	16
CGR-092	667	490			58	34
CGR-093	625	580			110	80
CGR-094	660	590			19	13
CGR-100	523	475			39	24
CGR-103	560	450			9.7	36
CGR-108	573	540			37	30
CGR-109	646	580			66	27
CGR-114	600				21	
CGR-117	515	495			14	21
CGR-121	520	470			11	9
CGR-124	618	580			20	8
CGR-129	597	540			30	14
CGR-135	490	450			101	31
CGR-144	585	550			50	21
CGR-151	615	590			30	27
CGR-154	610	590			15	
CGR-157	616	580			26	12
CGR-158	590	565			8	7
CGR-159	563	515			34	30
CGR-192	515	485			13	12
CGR-198	677	615			28	24
CGR-199	670	616			30	36
CGR-205	643				43	46
CGR-207	656				12	12
CGR-208	656				13	6
CGR-209	608				40	37
CGR-210	518				50	53

CONTINUA



Poços	Cota (m)	Entrada de água (m) (1)	Entrada de água (m) (2)	Entrada de água (m) (3)	Vazão de perfuração (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	Vazão de operação (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )
CGR-214	677				9	12
CGR-215	659				44	42
CGR-229	645				33	27
CGR-246	592				35	35
CGR-256	641				18	12
CGR-274	671				80	80
CGR-275	663				117	92
CGR-276	670				60	52
CGR-277	676				44	28